GENEL KİMYA

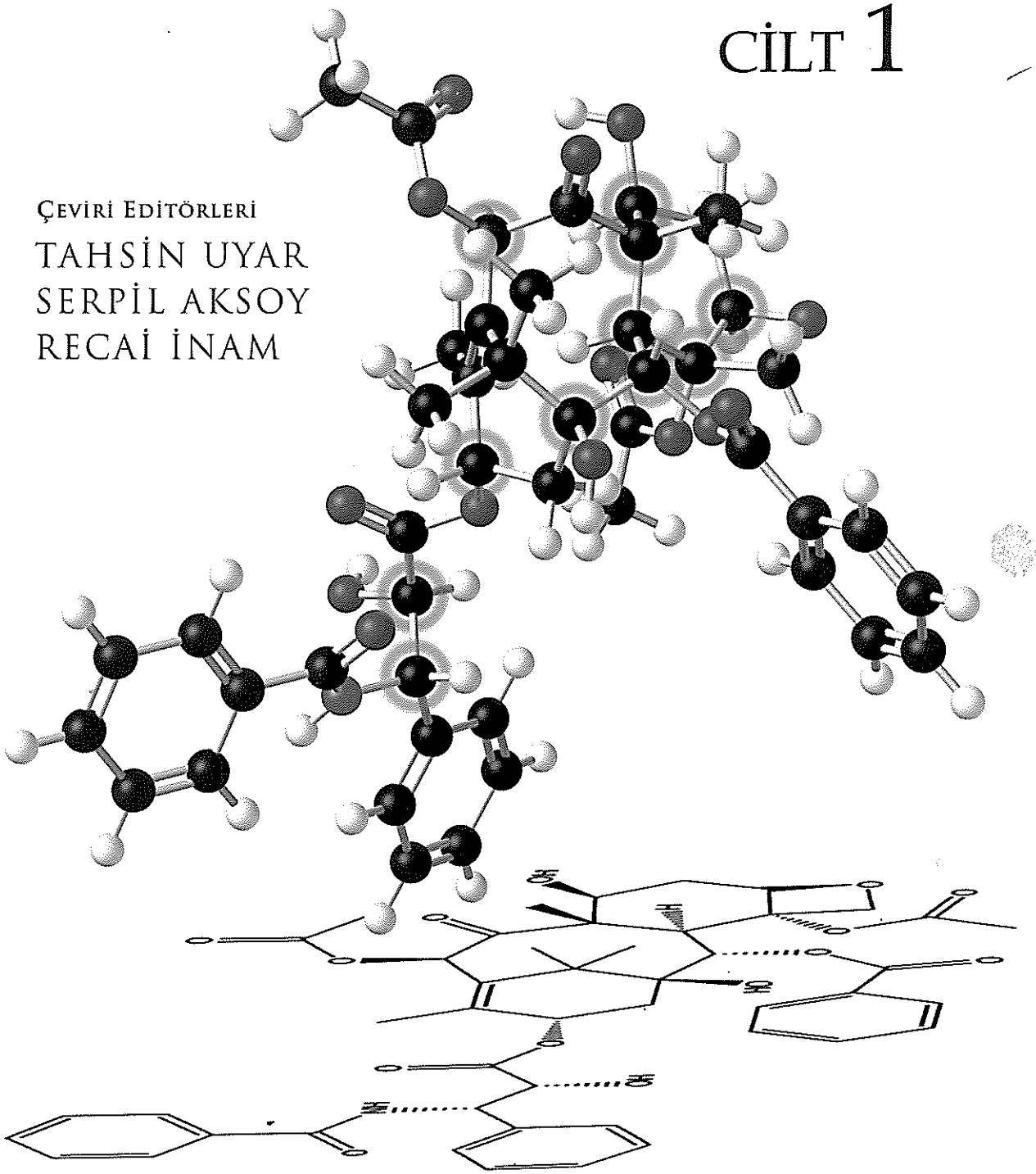
İlkeler ve Modern Uygulamalar

ONUNCU BASKIDAN ÇEVİRİ

CİLT 1

ÇEVİRİ EDİTÖRLERİ

TAHSİN UYAR
SERPİL AKSOY
RECAİ İNAM



PETRUCCI HERRING MADURA BISSONNETTE

PALME YAYINCILIK

GENEL KİMYA

İlkeler ve Modern Uygulamalar

ONUNCU BASKIDAN ÇEVİRİ

CİLT 1

RALPH H. PETRUCCI
CALIFORNIA STATE UNIVERSITY, SAN BERNARDINO

F. GEOFFREY HERRING
UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA

JEFFRY D. MADURA
DUQUESNE UNIVERSITY

CAREY BISSONNETTE
UNIVERSITY OF WATERLOO

ÇEVİRİ EDİTÖRLERİ

TAHSİN UYAR SERPİL AKSOY RECAİ İNAM

PALME YAYINCILIK
ANKARA 2012

ÇEVİRİ KURULU

Çeviri Editörleri

Tahsin UYAR, Serpil AKSOY, Recai İNAM

AFŞAR, Hüseyin,
Yıldız Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak.

AKÇAY, Mehmet,
Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak.

AKSOY, Serpil,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

AKTAN, Ebru,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

ALANKUŞ ÇALIŞKAN, Özgen
Ege Üniversitesi, Fen Fak.

ASMAN, Gülsen,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

ATEŞ, Selma,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

AYDIN, Hasan,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

BİLGİÇ, Orhan,
Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak.

BİLGİÇ, Sevim,
Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak.

CİVCİR, Pervin,
Ankara Üniversitesi, Fen Fak.

ÇAMURLU, Pınar,
Akdeniz Üniversitesi, Fen Fak.

ÇELEBİ, Sol,
Dokuzeylül Üniversitesi Emekli Öğr.Üyesi.

ÇETİNKAYA, Bekir,
Ege Üniversitesi Fen Fak.

DAŞTAN, Arif,
Atatürk Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fak.

DOĞAN, Mehmet,
Hacettepe Üniversitesi Fen Fak. Emekli Öğr. Üyesi

ERBİL, Mehmet,
Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak.

ERTAN, Nermin,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

GÜRKAN, Perihan,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

İNAM, Recai,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

KILIÇ, Zeynel,
Ankara Üniversitesi Fen Fak.

ÖZCİMDER, Mustafa,
Kırıkkale Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak.

SEVİN DÜZ, Fatma,
Hacettepe Üniversitesi Fen Fak

SİLAH, Hülya,
Bilecik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fak.

ŞANLI, Oya,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

TEZCAN, Ramazan,
Gazi Üniversitesi Eğitim Fak. Emekli Öğr. Üyesi

TOKALIOĞLU, Şerife,
Erciyes Üniversitesi, Fen Fak.

TÜRKER, A. Rehber,
Gazi Üniversitesi Fen Fak.

USLU, Bengi,
Ankara Üniversitesi Eczacılık Fak.

UYAR, Tahsin,
Gazi Üniversitesi Fen Fak. Emekli Öğr. Üyesi

Çeviri Editörlerinin Önsözü

Genel Kimya dersi yalnızca kimyada ya da kimya mühendisliğinde okuyan öğrencilerin değil, biyoloji, fizik, sağlık bilimleri, mühendislik, çevre ve ziraat alanlarında okuyan öğrencilerin de temel dersidir. Birçok öğrencinin genel kimyadan daha ileri bir kimya dersi görme şansı yoktur ve kimyanın pratik uygulamaları ile ilgili bilgileri bu düzeyde kalmak durumundadır. Bu nedenle, elinizdeki kitap, genel kimya dersi alan öğrencilerin bütün gereksinimlerini karşılayacak; soru çözme ve bilimsel düşünme yeteneğini geliştirecek biçimde düzenlenmiştir. Bu baskıda konular güncel örneklerle pekiştirilmiş ve kimyadaki en son buluş ve kavramlara yer verilerek konular detaylı ve kapsamlı olarak ele alınmıştır. Ayrıca öğrencilerin genel kimyayı en iyi şekilde öğrenmeleri için bölüm sonlarına çarpıcı ve güncel alıştırmalar eklenmiştir.

Bu kitabın Türkçeye çevrilmesinde 14 üniversiteden 30 öğretim üyesi görev almıştır. Kitabın çeviri ve düzenlenmesinde, en iyiyi yakalamaya çalışan çeviri kurulundaki bu öğretim üyelerimiz güçlerini, ülkemize ve ülkemizin geleceği olan öğrencilerimize hizmet etme ülküsünden almışlardır. Kitap yazma ve çeviri çalışmalarının yaygınlaşması ders kitapların çoğalmasına, güncellenmesine ve üniversitelerimizdeki öğretimin daha üst düzeye çıkarılmasına katkı sağlanmış olacaktır.

Üniversite gençliğimize hizmeti birinci öncelikte tutarak, bu kitabın yayınlanmasında hiç bir özveriden kaçınmayan, kitabın dizgi ve düzenlenmesinde titizlik gösteren Palme Yayınevine, takdir ve teşekkürlerimizi sunarız. Bu kitap, çeşitli aşamalarda, pek çok kişinin emeği ile oluşmuştur. Her birine katkılarından dolayı teşekkür etmeyi bir borç biliyoruz.

Tahsin Uyar, Serpil Aksoy, Recai İNAM

Bölüm Başlıkları

1 Madde: Özellikleri ve Ölçümü **1**
2 Atomlar ve Atom Kuramı **34**
3 Kimyasal Bileşikler **68**
4 Kimyasal Tepkimeler **111**
5 Sulu Çözelti Tepkimelerine Giriş **151**
6 Gazlar **192**
7 Termokimya **241**
8 Atomun Elektron Yapısı **294**
9 Periyodik Çizelge ve Atom Özellikleri **360**
10 Kimyasal Bağ I: Temel Kavramlar **395**
11 Kimyasal Bağ II: Bağ Kuramları **449**
12 Moleküller Arası Kuvvetler: Sıvılar ve Katılar **498**
13 Çözeltiler ve Fiziksel Özellikleri **557**

EKLER

A Matematiksel İşlemler **E1**
B Bazı Temel Fiziksel Kavramlar **E11**
C SI Birimleri **E15**
D Veriler Çizelgesi **E17**
E Kavram Haritaları **A37**
F Sözlük **A39**
G Kavram Değerlendirme Sorularının Yanıtları **A55**

İçindekiler

Çeviri Editörlerin Önsözü xiv
Yazarlar Hakkında xiv
Önsöz xv

1 Madde: Özellikleri ve Ölçümü 1

1-1 Bilimsel Yöntem 2
1-2 Maddenin Özellikleri 4
1-3 Maddenin Sınıflandırılması 5
1-4 Maddenin Ölçülmesi: SI (Metrik) Birimleri 8
1-5 Yoğunluk ve Yüzde Bileşim: Soru Çözümünde Kullanılması 13
1-6 Bilimsel Ölçümlerde Belirsizlik 18
1-7 Anlamlı Rakamlar 19

Özet 23 | Pekiştirici Örnek 24
Alıştırmalar 26 | Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 29
Özellikli Sorular 31 | Kendi Kendini Deneme Soruları 32

2 Atomlar ve Atom Kuramı 34

2-1 Kimyada İlk Buluşlar ve Atom Kuramı 35
2-2 Elektronlar ve Atom Fiziğinde Diğer Buluşlar 38
2-3 Atom Çekirdeği 42
2-4 Kimyasal Elementler 44
2-5 Atom Kütlesi 48
2-6 Periyodik Çizelgeye Giriş 51
2-7 Mol Kavramı ve Avogadro Sayısı 54
2-8 Hesaplamalarda Mol Kavramının Kullanılışı 56

Özet 59 | Pekiştirici Örnek 59
Alıştırmalar 60 | Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 64
Özellikli Sorular 65 | Kendi Kendini Deneme Soruları 66

3 Kimyasal Bileşikler 68

3-1 Kimyasal Bileşik Çeşitleri ve Formülleri 69
3-2 Mol Kavramı ve Kimyasal Bileşikler 73
3-3 Kimyasal Bileşiklerin Bileşimi 76
3-4 Yükseltgenme Basamakları: Kimyasal Bileşikleri Açıklanmada Yararlı Bir Kavram 84
3-5 Bileşiklerin Adlandırılması: Organik ve İnorganik Bileşikler 86
3-6 İnorganik Bileşiklerin Adları ve Formülleri 87
3-7 Organik Bileşiklerin Adları ve Formülleri 94

Özet 100 | Pekiştirici Örnek 101
Alıştırmalar 103 | Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 107
Özellikli Sorular 108 | Kendi Kendini Deneme Soruları 110

4 Kimyasal Tepkimeler 111

4-1 Kimyasal Tepkimeler ve Kimyasal Eşitlikler 112
4-2 Kimyasal Eşitlikler ve Stokiyometri 116
4-3 Çözeltide Kimyasal Tepkimeler 123
4-4 Sınırlayıcı Bileşenin Belirlenmesi 129
4-5 Tepkime Stokiyometrisinde Diğer Konular 132

Özet 138 Pekiştirici Örnek 139
Alıştırmalar 140 Özellikli Sorular 148
Kendi Kendini Deneme Soruları 149

5 Sulu Çözelti Tepkimelerine Giriş 151

5-1 Sulu Çözeltilerin Doğası 152
5-2 Çökelme Tepkimeleri 156
5-3 Asit-Baz Tepkimeleri 160
5-4 Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri: Bazı Genel İlkeler 165
5-5 İndirgenme–Yükseltgenme Eşitliklerinin Denkleştirilmesi 170
5-6 Yükseltgen ve İndirgenler 175
5-7 Sulu Çözelti Tepkimelerinin Stokiyometrisi: Titrasyonlar 177

Özet 181 Pekiştirici Örnek 182
Alıştırmalar 183 Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 187
Özellikli Sorular 189 Kendi Kendini Deneme Soruları 191

6 Gazlar 192

6-1 Gazların Özellikleri: Gaz Basıncı 193
6-2 Basit Gaz Yasaları 198
6-3 Gaz Yasalarının Birleştirilmesi: İdeal Gaz Denklemi ve Genel Gaz Denklemi 204
6-4 İdeal Gaz Denkleminin Uygulamaları 207
6-5 Kimyasal Tepkimelerde Gazlar 210
6-6 Gaz Karışımları 212
6-7 Gazların Kinetik-Molekül Kuramı 216
6-8 Kinetik-Molekül Kurama Bağlı Gaz Özellikleri 223
6-9 İdeal Olmayan (Gerçek) Gazlar 226

Özet 229 Pekiştirici Örnek 230
Alıştırmalar 231 Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 236
Özellikli Sorular 238 Kendi Kendini Deneme Soruları 240

7 Termokimya 241

7-1 Termokimyada Bazı Terimler 242
7-2 Isı 244
7-3 Tepkime Isısı ve Kalorimetri 248
7-4 İş 252
7-5 Termodinamiğin Birinci Yasası 255
7-6 Tepkime Isıları : ΔU ve ΔH 259
7-7 ΔH Değerinin Dolaylı Yoldan Belirlenmesi: Hess Yasası 266
7-8 Standart Oluşum Entalpileri 268
7-9 Enerji Kaynağı Olarak Yakıtlar 275

Özet 281 Pekiştirici Örnek 282
Alıştırmalar 283 Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 289
Özellikli Sorular 291 Kendi Kendini Deneme Soruları 292

8 Atomun Elektron Yapısı 294

8-1 Elektromanyetik Işıma 295
8-2 Atom Spektrumları 300
8-3 Kuantum Kuramı 302
8-4 Bohr Atom Modeli 307
8-5 Yeni Bir Kuantum Mekaniğine Yol Açan İki Kavram 313
8-6 Dalga Mekaniği 317
8-7 Kuantum Sayıları ve Elektron Orbitalleri 324
8-8 Hidrojen Atomu Orbitallerinin Gösterimi ve Yorumu 327
8-9 Elektron Spini: Dördüncü Kuantum Sayısı 333
8-10 Çok Elektronlu Atomlar 336
8-11 Elektron Dağılımları 339
8-12 Elektron Dağılımları ve Periyodik Çizelge 344

Özet 348 — Pekiştirici Örnek 349
Alıştırmalar 351 — Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 357
Özellikli Sorular 358 — Kendi Kendini Deneme Soruları 359

9 Periyodik Çizelge ve Atom Özellikleri 360

9-1 Elementlerin Sınıflandırılması: Periyodik Yasa ve Periyodik Çizelge 361
9-2 Metaller, Ametaller ve İyonları 364
9-3 Atom ve İyonların Büyüklüğü 367
9-4 İyonlaşma Enerjisi 374
9-5 Elektron İlgisi 378
9-6 Manyetik Özellikler 379
9-7 Elementlerin Periyodik Özellikleri 381

Özet 386 — Pekiştirici Örnek 386
Alıştırmalar 389 — Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 391
Özellikli Sorular 392 — Kendi Kendini Deneme Soruları 393

10 Kimyasal Bağ I: Temel Kavramlar 395

10-1 Lewis Kuramı: Genel Bakış 396
10-2 Kovalent Bağlanma: Giriş 399
10-3 Polar Kovalent Bağlar ve Elektrostatik Potansiyel Haritaları 402
10-4 Lewis Yapılarının Yazılması 408
10-5 Rezonans 416
10-6 Oktet Kuralından Sapmalar 418
10-7 Moleküllerin Biçimleri 421
10-8 Bağ Derecesi ve Bağ Uzunlukları 433
10-9 Bağ Enerjileri 434

Özet 438 — Pekiştirici Örnek 439
Alıştırmalar 440 — Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 446
Özellikli Sorular 447 — Kendi Kendini Deneme Soruları 448

11 Kimyasal Bağ II: Bağ Kuramları 449

11-1 Bir Bağ Kuramı Nasıl Olmalıdır? 450
11-2 Değerlik Bağ-Kuramına Giriş 451
11-3 Atom Orbitallerinin Melezleşmesi 453
11-4 Katlı Kovalent Bağlar 461
11-5 Molekül Orbital Kuramı 465
11-6 Delokalize Elektronlar: Benzen Molekülünde Bağlanma 474
11-7 Metallerde Bağlanma 480
11-8 Bazı Çözümlenmemiş Konular: Elektron Yük-Yoğunluğu Çizimleri Yardımcı Olabilir mi? 484

Özet 489 | Pekiştirici Örnek 489
Alıştırmalar 491 | Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 494
Özellikli Sorular 495 | Kendi Kendini Deneme Soruları 497

12 Moleküller Arası Kuvvetler: Sıvılar ve Katılar 498

12-1 Moleküller Arası Kuvvetler 499
12-2 Sıvıların Bazı Özellikleri 508
12-3 Katıların Bazı Özellikleri 520
12-4 Faz Diyagramları 522
12-5 Ağörgülü Kovalent Katılar ve İyonik Katılar 526
12-6 Kristal Yapılar 530
12-7 İyonik Kristallerin Oluşumunda Enerji Değişimleri 542

Özet 545 | Pekiştirici Örnek 546
Alıştırmalar 547 | Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 552
Özellikli Sorular 554 | Kendi Kendini Deneme Soruları 556

13 Çözeltiler ve Fiziksel Özellikleri 557

13-1 Çözelti Türleri: Bazı Terimler 558
13-2 Çözelti Derişimi 558
13-3 Moleküller Arası Kuvvetler ve Çözünme 562
13-4 Çözelti Oluşumu ve Denge 567
13-5 Gazların Çözünürlükleri 570
13-6 Çözeltilerin Buhar Basınçları 573
13-7 Osmotik Basınç 577
13-8 Elektrolit Olmayan Çözeltilerde Donma Noktası Alçalması ve Kaynama Noktası Yükselmesi 581
13-9 Elektrolit Çözeltiler 584
13-10 Kolloidal Karışımlar 587

Özet 590 | Pekiştirici Örnek 591
Alıştırmalar 592 | Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar 597
Özellikli Sorular 599 | Kendi Kendini Deneme Soruları 600

TARTIŞMAYA ODAKLANMA
"Focus On"(www.masteringchemistry.com)

1 **ODAK** Bilimsel Yöntem: Polisu
2 **ODAK** Elementlerin Bulunuşu ve Bollukları
3 **ODAK** Kütle Spektrometresi— Molekül ve Yapı Formüllerinin Belirlenmesi
4 **ODAK** Endüstriyel Kimya
5 **ODAK** Su Arıtma
6 **ODAK** Dünya'nın Atmosferi
7 **ODAK** Yağlar, Karbonhidratlar ve Enerji Depolama
8 **ODAK** Helyum—Neon Lazerleri
9 **ODAK** Periyodik Yasa ve Cıva
10 **ODAK** Uzayda Moleküller: Bağ Uzunluklarının Ölçülmesi
11 **ODAK** Fotoelektron Spektroskopi
12 **ODAK** Sıvı Kristaller
13 **ODAK** Kromatografi
14 **ODAK** Yanma ve Patlamalar
15 **ODAK** Azot Döngüsü ve Azot Bileşiklerinin Sentezi
16 **ODAK** Asit Yağmuru
17 **ODAK** Kanda Tamponlar
18 **ODAK** Kabuklar, Dişler ve Fosiller
19 **ODAK** Biyolojik Sistemlerde Kenetlenme Tepkimeleri
20 **ODAK** Membran Potansiyelleri
21 **ODAK** Galyum Arsenür
22 **ODAK** Ozon Tabakası ve Ozonun Çevresel İşlevi
23 **ODAK** Kuantum Noktaları
24 **ODAK** Değerli Taşların Renkleri
25 **ODAK** Radyoaktif Atıkların Yok Edilmesi
26 **ODAK** Enantiyomerlerin Kimyasal Yarılması
27 **ODAK** Yeşil Kimya ve İyonik Sıvılar
28 **ODAK** Protein Sentezi ve Genetik Şifre

Yazarlar Hakkında

Ralph H. Petrucci

Ralph Petrucci, Union Kolej'den (Schenectady, NY) kimya alanında lisans diplomasını ve Wisconsin-Madison Üniversitesi'nden doktora diplomasını aldı. Case Western Reserve Üniversitesi (Cleveland, OH), orta öğretim fen bilimleri öğretmenliği, NSF enstitüsünde on yıl öğretim üyeliği, araştırma, danışmanlık ve enstitü yöneticiliği görevlerinde bulunduktan sonra, 1964'de San Bernardino'da New California State Üniversitesi yerleşkesi planlama grubuna katıldı. Buradaki fakülteye öğretim üyesi olarak atanması yanında, Doğal Bilimler Bölümü Başkanlığı ve Akademik Planlama Dekanlığı yaptı. Profesör Petrucci şu anda emekli olup, John W. Hill, Terry W. McCreary ve Scott S. Perry ile beraber başka bir *Genel Kimya* kitabının yazarlarındandır.

F. Geoffrey Herring

Geoff Herring, Londra Üniversitesi'nden mezun olmuş ve aynı yerde fizikokimya alanında doktora yapmıştır. Şu anda British Colombia Üniversitesi (Vancouver) Kimya Bölümünde profesördür. Dr. Herring'in araştırma ilgi alanı biyofizikokimyadır. Fizikokimya ve kimyasal fizik konusunda 100'den fazla basılmış makalesi vardır. Dr. Herring son zamanlarda, öğrencilerin genel kimyayı öğrenebilme ve konuları kavrayabilmelerini geliştirmek için bilgi teknolojileri ve interaktif öğretim yöntemleri üzerinde çalışmaktadır. Dr. Herring, Lisans ve lisansüstünde, kimya öğretimi konularında 30 yıldır ders vermekte ve yöntemler geliştirmektedir. Kimya öğretiminde mükemmellik için verilen "Killam Prize for Excellence in Teaching" ödülünü iki kez almıştır.

Jeffy D. Madura

Jeffy D. Madura, Duquesne Üniversitesi'nde (Pittsburg, PA), Kimya ve Biyokimya Bölümü profesörüdür. 1980'de Thiel College'den mezun olmuş ve 1985'de doktorasını fizikokimya alanında Purdue Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Doktora sonrası çalışmalarını biyofizik alanında Profesör J. Andrew McCammon ile Houston Üniversitesi'nde yapmıştır. Dr. Madura'nın araştırma ilgi alanları hesaplamalı kimya ve biyofiziktir. Fizikokimya ve kimyasal fizik alanında 80'den fazla basılı makalesi bulunmaktadır. Dr. Madura lisans ve lisansüstü düzeyde 20 yıldır kimya dersi vermektedir ve "Dreyfus Teacher-Scholar" ödülü almıştır. Bayer Doğal ve Çevresel Bilimler ödülü ile Duquesne Üniversitesi 2007 en iyi bilim ödüllerini de almıştır.

Carey Bissonnette

Carey Bisonette, Waterloo Üniversitesi (Ontario) kimya bölümünün devamlı öğretim görevlisidir. 1989 yılında lisans derecesini Waterloo Üniversitesi'nden, 1993 yılında doktora derecesini İngiltere'de Cambridge Üniversitesi'nden almıştır. Araştırma ilgi alanları, gaz fazındaki çok atomlu moleküllerin dinamik süreçlerinin modellenmesinde yöntem geliştirme üzerinedir. En iyi öğretici dalında Waterloo Üniversitesi 2005 yılı seçkin öğretim üyesi ödülünü almıştır. Dr. Bisonette, öğrencilerinin hem sınıf hem laboratuarda öğrenmeleri ve araştırma yapmaları için geniş teknoloji kullanımıyla interaktif ortam yaratmıştır. Son birkaç yılda, lisans ders müfredatının geliştirilmesi, ortaöğretim bağlantılı etkinlikler ve Dünyanın her tarafındaki öğrenciler tarafından her yıl kendisine yazılan, üniversitelerin yüksek okul kimya içeriklerinin koordinasyonu konularında çalışmaktadır.

Önsöz

"Hedefinizi biliniz". Bu yeni baskıda, bizimle beraber ciddi bir yolculuğa çıkan öğrencilerimizin gereksinimleri için bu önemli tavsiyeyi tutmaya çalıştık. Ayrıca, genel kimya okuyan öğrencilerin önemli bir kısmının yalnızca kimya alanında ilerlemeyeceğini, biyoloji, tıp, mühendislik, çevre, ziraat, vb. alanlarda öğrenim göreceğini göz önüne aldık. Bazı öğrencilerin göreceği yegâne kimyanın genel kimya olduğu bilinciyle hareket ettik. Bu öğrencilerin, kimyanın pratik uygulamalarını öğrenmek için belki de başka bir şansları olmayacaktır. Bu kitabı düzenlerken bütün bu öğrencilerin gereksinimlerini dikkate almaya çalıştık.

Bu kitabı okuyacak olan öğrencilerin, daha önceden biraz kimya bilgilerinin olması gerekir. Ancak, böyle bir şansı olmamış öğrenciler bile özellikle ilk bölümlerde verilen bilgilerle, kendilerini geliştirebilirler. Kimyacı olmayacak olan öğrenciler de, kendi alanlarını ilgilendiren çok yararlı bilgiler bulacaklardır.

Normal olarak bir öğrenci, ilkeleri anlamak ve uygulamak ve bunların fiziksel anlamlarını kavrayabilmek için yardıma gereksinme duyabilir. Bu kitabın pedagojik özellikleri bu yardıma göre düzenlenmiştir. Kitabın, aynı zamanda, öğrencinin soru çözme ve doğru düşünme yeteneğini geliştireceğine de inanıyoruz. İşte bu nedenle, ilkelerle uygulamalar, nitel ile nicel ve zorlukla kolaylık arasında bir denge kurmaya çalıştık.

Kitapta verilen örnekleri gerçek yaşamdan seçmeye çalıştık. Biyolojik bilimler, mühendislik ve çevre bilimleri ile ilgili örnekler birçok yerde karşınıza çıkabilir. Kimyayı yaşamın bir parçası haline getirecek olan bu örnekler, öğrencilerin ilgi duydukları meslek alanlarında ilerlemelerini de sağlayacaktır. Ayrıca, belli başlı temel ana kavramları anlamalarına da yardım edecektir.

DÜZENLEME

Bu baskıda dokuzuncu baskıdaki ana düzeni korumaya çalıştık, ancak bazı bölümlerde konu kapsamlarını derinlik ve genişlik olarak artırdık. Bölüm 1'de temel kavramları verdikten sonra, Bölüm 2'de, periyodik çizelgeyi de içeren atom kuramını anlattık. Periyodik çizelge çok kullanışlı bir araçtır ve önceden vermek başlangıçtaki konuların anlaşılmasında yararlı olacaktır. Bölüm 3'de kimyasal bileşikler ve stokiyometrileri verilmiştir. Burada organik bileşikler de gösterilmiştir. Organik bileşiklerin başlarda anlatılması, kitap boyunca organik bileşikleri içeren örnekleri vermemizi kolaylaştırmıştır. Bölüm 4 ve 5'de kimyasal tepkimeler anlatılmıştır. Gazlar, Bölüm 6 da verilmiştir. Bunun bir nedeni, gazların öğrenciye yabancı olmaması, diğer bir nedeni ise, bazı öğretim üyelerinin ders ve laboratuvar çalışmalarındaki bütünleşmeyi daha iyi sağlamasıdır. Bölüm 6, maddenin diğer halleri ile birlikte Bölüm 13'e de alınabilir. Bölüm 8'de dalga mekaniğine, önceki baskılara göre daha fazla önem verdik. Ancak, anlatma düzeyini ya da konunun atlanmasını öğretim üyelerinin takdirlerine bıraktık. Son bölümleri daha önceki baskılarda olduğu gibi, doğal kimyaya ayırdık (Bölüm 21-24). Bazı konular yeniden gözden geçirildi. Bu bölümlerdeki birçok başlık tüm bölümleri çalışmaksızın, bağımsız olarak kolayca anlaşılabilir. Kitap, organik kimyanın kapsamlı konuları (Bölüm 26 ve 27) ve biyokimya (Bölüm 28) ile sona ermektedir.

BU BASKIDAKI DEĞİŞİKLİKLER

Bu baskıda, genel kimyanın çağdaş öğretim yöntemleriyle en iyi şekilde kavranması için konuların kapsam ve derinliği artırıldı, pedagojik araçlarla güçlendirildi. Ayrıca bilgi akışını iyileştirmek amacıyla bir dizi küçük organizasyon ve değişiklikler yaptık. Aşağıda kitap boyunca yapılan önemli değişiklikler ve iyileştirmeler özetlenmektedir.

- *Soruları çözmede mantıklı bir yaklaşım.* Kitaptaki tüm örnekler 'Analiz–Çözüm–Değerlendirme' üçlü yapısı kullanılarak çözülmektedir. Bu yöntem öğrencilere sadece problem çözmede mantıklı yaklaşımı öğretmekle kalmaz, aynı zamanda başlangıçta çözülmesi neredeyse imkânsız gibi görünen problemlerin çözümüne özgüvenle başlamaları için onları cesaretlendirir. Bu yaklaşım bol soru çözen ve pratik yapmış olanlar tarafından zaten kullanılır, ancak yeni öğrenenler için 'Analiz-Çözüm-Değerlendirme' yapısı öğrenciye (1) bilgiyi analiz etme ve bir strateji planlama (2) stratejiyi uygulama (3) bulduğu sonucun makul olup olmadığını kontrol edip değerlendirme yapma, becerilerini kazandırır.
- *Pekiştirici örnekler ve bölüm sonu alıştırmaları.* Daha önceki baskıların okuyucuları bize, her bölümün sonundaki pekiştirici örneklerin kalitesi ve bölüm sonu alıştırmaların çeşitliliği hakkında, çok olumlu tepkiler verdiler. Bölüm içerisinde verilen her bir uygulanma örneğine iki alıştırma ilave ettik (Alıştırma A ve Alıştırma B). Bölüm sonu alıştırmalarını değiştirmek yerine, çoğu bölümde alıştırma sayısını artırmayı tercih ettik. Çoğu bölüme en az 10 yeni alıştırma eklerken, birçok bölüme de 20 ya da daha fazla alıştırma eklendi.
- *IUPAC önerilerinin kullanılması.* Biz kitabımızın dünya çapındaki öğretici ve öğrencilerimizin ihtiyaçlarına hizmet etmesinden çok mutluyuz. Genel olarak bilim insanları arasında, özellikle de kimyacılar arasındaki iletişim aynı simge ve formüllerin kullanımı ile daha kolay olduğundan, çok az istisnalar dışında Uluslar arası Saf ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) tarafından önerilen birimleri takip edeceğiz. Özellikle, kitap boyunca yer verilen periyodik çizelge, IUPAC tarafından en son onaylanan şeklidir. IUPAC tarafından onaylanan son çizelgede lantan (La) ve aktinyum (Ac) elementleri 3. grupta değil lantanit ve aktinit serilerinde yer almaktadırlar. Ne ilginçtir ki, La ve Ac elementlerinin periyodik çizelgedeki bu doğru yerleşimi 20 yılı aşkın bir süredir bilinmesine karşın, neredeyse bütün kitaplar, hala periyodik çizelgenin eski yazımını kullanmaktadırlar!

Bazı bölümlerde ve ek'lerde aşağıdaki şu önemli değişiklikleri yaptık:

- Bölüm 1'den 6'ya kadar birçok problem, hem basamaklı yaklaşım ve hem de birim dönüştürme yöntemleri ile çözüldü. Kimya alt yapısı olmayan öğrencilerin birim dönüştürme yolu gözlerini korkutabilir ve bu yüzden basamaklı yaklaşımı tercih edebilirler. Bu öğrenciler, uygulama yaptıkça birim dönüştürme yolunun daha kolay olduğunu göreceklerdir. Başlangıç bölümlerinde öğretim üyelerinin her iki yaklaşımı da öğrencilere vermeleri daha iyi olacaktır.
- Bölüm 6'da (gazlar) standart sıcaklık ve basınç (STP) tanımını IUPAC önerilerine uygun olarak değiştirdik. Ayrıca, gazların mol hacimleri ve molekül hızı dağılımı hakkında tartışmalar ekledik. Molekül hızlarının dağılımı tartışması, 14. bölümdeki Kimyasal Kinetik'te yer alan

Arhenius hız sabitini doğrulamak için bir sıçrama tahtası olarak kullanılabilir.

- Bölüm 8'de (Atomun Elektron yapısı), bir kutudaki taneciği ayrı bir kesime koyduk. Bu tartışma öğretim üyesinin takdirine bağlı olarak öğrencilere anlatılabilir ya da atlanabilir. Bu tartışma önceki baskıya göre, tanecik düzeyindeki bir elektronun olasılık koşullarını ortaya koymak için dalga fonksiyonlarının nasıl kullanılacağını göstermek açısından birazcık genişletildi.
- Bölüm 10'da (Kimyasal Bağ I: Temel Kavramlar), moleküllerin üç boyutlu yapılarını göstermek için çizgi ve kama simgelerini kullandık ve bu imgeler kitabın geri kalan kısmı boyunca kullanıldı. Ayrıca "yükseltgenme basamakları ve formal yüklerin karşılaştırılması" konulu yeni bir Merak Ediyorsanız? kutusu ekledik.
- Bölüm 12 (Moleküller Arası Kuvvetler: Sıvılar ve Katılar), tekrar düzenlenerek moleküller arası kuvvetlerin incelenmesi öne alındı. Katılar ve sıvıların özelliklerindeki eğilimler moleküller arasındaki çekim kuvvetlerine katkı sağlayan türler açıcısından tartışıldı.
- Bölüm 14'de (Kimyasal Kinetik) tepkime hızlarını tanımlarken, denkleştirilmiş kimyasal eşitliğin stokiyometrik katsayılarını esas alan IUPAC önerilerini benimsedik. Ayrıca, tepkime işlemine moleküler bir açıklama getiren, yeni bir Merak Ediyorsanız? kutusu koyduk.
- Bölüm 15'de (Kimyasal Denge); aktiflik, basınç ve derişim arasındaki ilişkilerin ve ayrıca K, K_p ve K_c arasındaki ilişkilerin incelenmesine daha geniş yer verildi.
- Bölüm 16'da (Asitler ve Bazlar), asit-baz tepkimelerinde elektron çiftlerinin hareketini vurgulamak için, organik kimyadaki kullanımı ile tutarlı bir şekilde eğri okları kullandık. Ayrıca, molekül yapısıyla asit kuvveti arasındaki bağıntıyı açıklayan gelişmiş ve modern bir açıklamaya yer verdik.
- Bölüm 20'de (Elektrokimya), IUPAC önerileri doğrultusunda bazı gösterimlerde değişiklikler yaptık. Bunlardan en önemlisi, elektron sayısının gösterimi için z kullandık ve Nernst eşitliği ile diğer eşitliklerde n yerine z kullandık.
- Bölüm 21 (Baş Grup Elementlerinin Kimyası I: 1. 2. 13. ve 14. Gruplar) ve Bölüm 22 (Baş Grup Elementleri Kimyası II: Grup 18, 17, 16, 15, ve Hidrojen) taç eter kompleksleri, zeolitler ve grafen gibi ilginç ve önemli tartışmalara yer vererek güncellendi. Bölüm 21'de, yük yoğunluğu kavramını verdik ve bu kavramı elementler arasındaki benzerlik ve farklılıkları anlamak için, bu iki bölüm boyunca kullandık.
- Bu baskıda, organik kimya'ya iki bölüm ayırdık. Bölüm 26 (Organik Bileşiklerin Yapıları), organik bileşiklerin yapıları, konformasyonları, elde edilmeleri ve kullanım alanları üzerine odaklandık. Bölüm 27 (Organik Bileşiklerin Tepkimeleri), birkaç önemli tepkime türü ve onların mekanizmaları üzerinedir. Bu tepkimelerin incelenmesinde asit ya da baz kuvvetlilikleri, elektronegatiflik ve polarlanabilirlik gibi kitapta daha önce verilen kavramlara vurgu yaptık.
- Ek D'de, Çizelge D.2'de listelenen maddelerin (298,15 K'de Maddelerin Termodinamik Özellikleri) her birisi için mol ısı kapasitesi ekledik. Ayrıca, 'İzotop Kütleleri ve Bollukları' adlı yeni bir çizelge (Çizelge D.5) ekledik.

BU BASIMIN ÖZELLİKLERİ

Bu baskıda, kimyanın öğrenilmesini ve öğretilmesini kolaylaştıracak olan olguların bir araya getirilmesi için büyük çaba sarf ettik.


15

Kimyasal Dengenin İlkeleri

İÇİNDEKİLER

15-1 Dinamik Denge
15-2 Denge Sabiti Eşitliği
15-3 Denge Sabitlerini İçeren Bağıntılar
15-4 Denge Sabiti Büyüklüğü
15-5 Tepkime Oranı Q: Net Tepkime Yönünün Belirlenmesi
15-6 Dengeye Etki Eden Etkenler: Le Châtelier İlkesi
15-7 Denge Hesaplamaları: Bazı Açıklayıcı Örnekler

Eğer iki element birden fazla bileşik oluşturursa, ikinci elementin sabit bir miktarı ile birleşen birinci elementin kütleleri arasında küçük tam sayı ile ifade edilebilen bir oran vardır.

Bölüm Açılışı

Her bölüm, bölüm içeriğine genel bir bakış açısı sağlamak için, **içindekiler** listesi ile açılmaktadır.

Anahtar Terimler

Kitap içerisinde tanımlanan **anahtar terimler** koyu yazılmıştır. Bunların tanımları ile anahtar terimler **sözlüğü,** Ek F'de verilmiştir.

Renkli Vurgu Kutusu

Önemli denklemler, kavramlar ve kurallar dikkat çekmesi ve kolay görülmesi için renkli bir arka plan ile vurgulanmıştır.

13.1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Suyun mol kesri 0,5 olan bir mol çözeltide kaç tane su molekülü bulunabilir?

Kavram Değerlendirme

Kavram Değerlendirme Soruları (çoğu nitel sorulardır) bölüm içerisinde dağıtılmış olarak verilmektedir. Bu kısım, konu daha fazla ilerlemeden öğrencilerin temel kavramları tam olarak anlayıp anlamadıklarını kontrol etmek içindir. Bunların tam çözümleri kitabın arkasındaki ek G'de verilmektedir.

ÖRNEK 13-5 Henry Yasasının Kullanılışı

0 °C de ve 1,00 atm oksijen basıncında, O_2 (g) nin sudaki çözünürlüğü 48,9 mL/L dir. O_2, havada normal kısmi basıncında; 0,2095 atm ise doymuş sulu çözeltide O_2 nin molaritesi nedir?

Analiz

Soruyu iki aşamada yanıtlayalım: (1) 0 °C ve 1 atm de O_2 nin doygun çözeltisinin molaritesini bulalım, (2) Henry yasasına uygulayalım.

Çözüm

P_{O_2} = 1 atm ve 0 °C de O_2 nin molaritesi hesaplayınız.

$$\text{molarite} = \frac{0{,}0489\ \text{L}\ O_2 \times \frac{1\ \text{mol}\ O_2}{22{,}4\ \text{L}\ O_2\ (\text{STP})}}{1\ \text{L çözelti}} = 2{,}18 \times 10^{-3}\ \text{M}\ O_2$$

Henry yasası sabitini bulunuz.

$$k = \frac{C}{P_{gaz}} = \frac{2{,}18 \times 10^{-3}\ \text{M}\ O_2}{1{,}00\ \text{atm}}$$

$$C = k \times P_{gaz} = \frac{2{,}18 \times 10^{-3}\ \text{M}\ O_2}{1{,}00\ \text{atm}} \times 0{,}2095\ \text{atm} = 4{,}57 \times 10^{-4}\ \text{M}\ O_2$$

Değerlendirme

Çözünen gaz ve çok düşük derişimde ise, çözeltilerle ilgili soruları çözerken Henry yasasını kullanınız.

ALIŞTIRMA A: Örnek 13-5 deki verileri kullanarak, 0 °C de her 100 mL sinde 5,00 mg O_2 içerdiği bilinen bir sulu çözeltinin üzerindeki O_2 in kısmi basıncını bulunuz.

ALIŞTIRMA B: Bir el kitabında karbon monoksidin sudaki çözünürlüğü 0 °C ve 1 atm de 0,0354 mL CO/mL H_2O olarak verilmiştir. 0,0100 M *lik* CO çözeltisi hazırlayabilmek için, çözelti üzerindeki CO(g) basıncı ne olmalıdır?

Örnekler ile Alıştırma A ve Alıştırma B

Kitap boyunca verilen **çözülmüş örnekler,** kavramların nasıl uygulanacağını göstermektedir. Çoğu zaman bir çizim veya fotoğraf, problemin ne olduğunu görselleştirerek öğrenciye yardımcı olur. Daha da önemlisi problem çözerken öğrencilerin mantıksal bir yaklaşımı benimsemelerini teşvik etmek için, bütün çözülmüş örnekler **Analiz-Çözüm-Değerlendirme** aşamaları takip edilerek verilmektedir.

Kitaptaki her bir çözülmüş Örnek için, iki **Alıştırma** verilmektedir. Birinci olarak verilen **Alıştırma A,** çözülmüş olan Örnek ile çok benzer olup anında benzer bir uygulama yapma olanağı sağlar. İkinci olarak verilen **Alıştırma B,** zorluk düzeyi açısından bölüm sonundaki problemlerle benzer düzeyde olup öğrenciyi çözülmüş Örnek problemden bir basamak daha yukarıya götürür. Bütün alıştırmaların cevapları **MasteringChemistry** internet sitesinde verilmiştir(www.masteringchemistry.com).

◀ İdeal çözeltiler için Raoult yasası yoluyla ifade edilen buhar basıncı düşmesi de sayısal (koligatif) bir özelliktir.

Kenar Açıklamaları

Kenar Açıklamaları önemli noktaları açıklığa kavuşturmakta yardımcı olmaktadır.

Unutmayınız Notları

Unutmayınız kenar notları, kitapta daha önce verilen ancak incelenmekte olan konunun anlaşılmasında önemli sayılan bazı kavramları hatırlatmaktadır. Bazen de öğrencileri sık düşülen tuzaklara karşı uyarmaktadır.

UNUTMAYINIZ
Buharın daha uçucu bileşence, sıvıdakinden daha zengin olduğu sıvı-buhar denge diyagramlarında iki eğrinin konumu görüldüğü gibidir. Daha uçucu bileşen, buhar basıncı daha yüksek ya da kaynama noktası daha düşük olan bileşendir.

Merak Ediyorsanız?

Merak Ediyorsanız? kutuları öğrencilerin sıklıkla sordukları hayret verici ve güzel sorulara cevaplar vermektedir. Bunların bazıları öğrencilerin yaygın yanlış anlamalardan kaçınmalarına yardımcı olmak için tasarlanmış; bazıları bir kavrama alternatif açıklamalar ya da benzetmeler sağlamak için tasarlanmış; bazıları ise öğrencilerin öğrendikleri konulardaki açık tutarsızlıkları işaret etmek amacı ile tasarlanmıştır. Bu konuların okutulması ya da atlanması öğretim üyesinin takdirine bırakılmıştır.

13-1 MERAK EDIYORSANIZ...
Karbon disülfür ve aseton karışımındaki moleküller arası kuvvetlerin niteliği nedir?

Karbon disülfür polar olmayan bir moleküldür ve saf karbon disülfür bileşiğinde moleküller arası kuvvetler, sadece zayıf London dağılım kuvvetleri olup, bileşik uçucu bir sıvıdır. Aseton polar bir bileşiktir; saf bileşikte moleküller arasında güçlü dipol-dipol etkileşimleri vardır ve uçuculuğu karbon disülfüre göre daha azdır. Asetonun karbon disülfür içindeki bir çözeltisinde, aseton moleküllerinin dipolleri karbon disülfür moleküllerini polarize ederek, *dipol-indüklenmiş dipol* etkileşimlerinin ortaya çıkmasına neden olur.

Tartışmaya Odaklanma

Her bölümün sonuna doğru MasteringChemistry™ internet sitesinde (www.masteringchemistry.com) yer alan Focus On (odaklanma) kısmındaki kompozisyonlar için örnekler verilmektedir. Bu kompozisyonlar bölümde incelenen konularla ilgili olarak kimyanın ilginç ve önemli uygulamalarını açıklamakta, günlük hayatın tüm alanlarında kimyanın önemini göstermede yardımcı olmaktadır.

CHEMISTRY www.masteringchemistry.com
Doğada en bol bulunan element nedir? Soru basit gibi gözükse de cevap kolay değildir. Evrendeki ve yerkabuğundaki elementlerin bolluğu hakkında daha fazla bilgi edinmek için, Bölüm 2'de, (ayrıca MasteringChemistry Sitesinde bulunan) Elementlerin Doğada Bulunuşları ve Bollukları başlıklı "Focus On" konusunu okuyunuz.

Organik Kimya Bölümüne İlaveler

27. Bölümde, Organik Asit ve Bazlar; E2 mekanizması için Görsel Çalışma; Karboksilli Asitler ve Onların Türevleri: MasteringChemistry (www.masteringchemistry.com) de bulunan Katılma-Ayrılma Mekazizması, konuları ilave edilmiştir.

Özet

Her bölüm için düzyazı şeklinde bir **özet** verilmektedir. Özet kısmı, bölümdeki ana başlıkları ve koyu olarak belirtilmiş anahtar terimleri içerecek şekilde düzenlenmiştir.

Özet

13.1 Çözelti Türleri. Basitsimler—Çözeltinin fiziksel halini, çözelide genellikle en fazla miktarda bulunan bileşen olan **çözücü**, bellder (Çizelge 13.1). **Çözünen**, çözeltinin çözücü içinde çözünen bileşenidir. Seyreltik çözeltiler görell olarak küçük miktarlarda çözünen içerirken, derişik çözeltilerde çözünen miktarı fazladır.

13.2 Çözelti Derişimleri—Bir çözelti bileşimine ilişkin her tanımlama, var olan çözünen ve çözücü (ya da çözelti) miktarını belirtmelidir. Kütle yüzdesi, hacim yüzdesi ve kütle/ hacim yüzdesi olarak belirtilen çözelti derişimlerinin hepsi, milyonda bir kısım (ppm), milyarda bir kısım (ppb) ve trilyonda bir kısım (ppt) birimleriyle verilen çözelti derişimleri gibi, uygulamalarda önem taşır. Bununla birlikte, daha temel derşim birimleri, mol kesri, molarite ve molalitedir. Molarite (çözeltinin litresi başına çözünen molü) sıcaklığa bağlı iken, molalite (çözücünün kilogramı başına çözünen molü) sıcaklıktan bağımsızdır.

13.3 Moleküller Arası Kuvvetler ve Çözünme—İki maddenin bir çözelti oluşturmak üzere karışıp karışmayacağına ilişkin öngörüde bulunabilmek için, benzer ve benzer olmayan moleküller arasındaki kuvvetlerin niteliğinin bilinmesi gerekir (Şekil 13-2 ve 13-3). Bu yaklaşım, bir **ideal çözeltinin** tanımlanmasını olanaklı kılar. Bileşenlerinin özelliklerinden çıkarak ideal çözeltilerin özeliklerini öngörmek olasıdır. Çözeltilerin çoğu, ideal olmayan çözeltilerdir.

13.4 Çözelti Oluşumu ve Denge—Bir çözücünün, bir çözüneni çözme yeteneği genellikle sınırlıdır. Çözebileceği maksimum miktarda çözünen içeren bir çözelti **doymuş çözelti**, bu miktardan daha az çözünen içeren bir çözelti, **doymamış çözeltidir**. Belli koşullar altında bir çözelti, normal doymuş çözeltinin içerdiği çözünen miktarından daha fazla çözünen içerecek şekilde hazırlanabilir; böyle çözeltilere **aşırı doymuş çözelti** denir. Çözünürlük, doymuş bir çözeltideki çözünen derişiminin bir ölçüsü olup, sıcaklığa bağlıdır.

Pekiştirici Örnek

Pekiştirici Örnek bölümün sonuna doğru verilmektedir. Bu zorlu örnekler, karmaşık problemleri çözerken öğrenciye daha önceki bölümlerdeki çeşitli kavramlarla nasıl bağıntı kuracağını göstermektedir. Kitabın bu baskısında, her bir Pekiştirici Örnek, **Alıştırma A** ve **Alıştırma B** takip etmektedir. Bu Alıştırmaların cevapları **MasteringChemistry**™ internet sitesinde verilmiştir (www.masteringchemistry.com).

Pekiştirici Örnek

Peroksiasetil nitrat (PAN), kirli havada, hidrokarbonlar ve azot oksitlerinin, güneş ışığında fotokimyasal olarak tepkimesinden oluşan bir kirleticidir. PAN kararsız bir molekül olup, peroksiasetil radikalleri ve NO_2'ye dönüşür. Bu nedenle PAN, kirli havada NO_2 nin depolandığı bir bileşik olarak kabul edilebilir.

$$CH_3COONO_2 \longrightarrow CH_3COO\cdot + NO_2$$
PAN — Peroksiasetil radikali

PAN ın birinci dereceden bozunma tepkimesinin 0°C da yarılanma ömrü 35 saat, 25°C da ise yarılanma ömrü 30 dakikadır. Litresinde 5×10^{14} PAN molekülü içeren bir hava örneği hangi sıcaklıkta 1×10^{12} PAN molekülü / 1 dak hızla bozunur?

Analiz

Problemi çözmek için, hız sabiti ile sıcaklık (14.22 eşitliği) ve hız sabiti ile tepkime hızı (14.6 eşitliği) arasındaki ilişkilere dayanan dört temel işlemi göz önüne almak gerekir. (1) İki yarılanma ömrünü k nın değerine dönüştürmeliyiz. (2) Tepkimenin eşik enerjisini bulmak için, bu k değerlerini ve bunlara karşılık gelen sıcaklıkları kullanmalıyız. (3) Belirlenmiş bozunma hızına karşılık gelen k değerini bulmalıyız. (4) Bu k değerine karşılık gelen sıcaklığı hesaplamalıyız.

Çözüm

Birinci dereceden tepkimenin 0°C deki k değerini hesaplayınız.

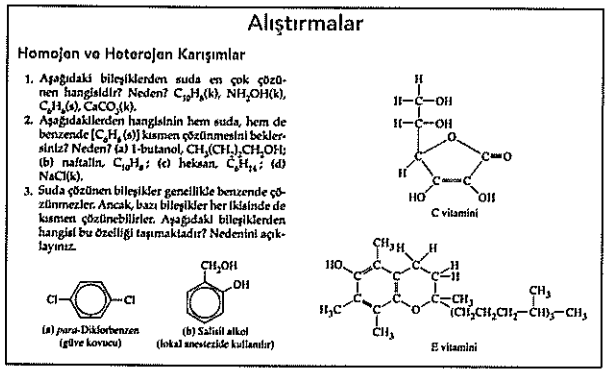
$$k = 0{,}693/t_{1/2}$$
$$k = \frac{0{,}693}{35\text{ s}} \times \frac{1\text{ s}}{60\text{ dak}} = 3{,}3 \times 10^{-4}\text{ dak}^{-1}$$

ALIŞTIRMA A: Oda sıcaklığında (20 °C) süt, yaklaşık 64 saat içinde ekşir. Buz dolabında 3 °C de ise bunun 3 katı sürede ekşimeden kalabilir. (a) Sütün ekşimesine neden olan tepkimenin eşik enerjisini tahmin ediniz. (b) 40 °C de süt ne kadar sürede ekşir?

ALIŞTIRMA B: Tek moleküllü bir tepkimenin derecesindeki değişimi bulmak için aşağıdaki mekanizma kullanılabilir. Siklopropanın (A) propene dönüşmesi de bu tür bir tepkime ile gerçekleşir. Aşağıdaki tepkime denkleminde bulunan A*, siklopropanın enerjili hali olup, tepkime verebileceği gibi, tepkimeye girmemiş olarak kalan siklopropana da dönüşebilir.

$$A + A \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} A^* + A$$
$$A^* \xrightarrow{k_2} P$$

Hız yasasının, A ya göre, düşük siklopropan basıncında ikinci dereceden, yüksek siklopropan basıncında birinci dereceden olduğunu gösteriniz.



Alıştırmalar

Homojen ve Heterojen Karışımlar

1. Aşağıdaki bileşiklerden suda en çok çözünen hangisidir? Neden? $C_{10}H_8(k)$, $NH_2OH(k)$, $C_6H_{14}(s)$, $CaCO_3(k)$.
2. Aşağıdakilerden hangisinin hem suda, hem de benzende [$C_6H_6(s)$] kısmen çözünmesini beklersiniz? Neden? (a) 1-butanol, $CH_3(CH_2)_2CH_2OH$; (b) naftalin, $C_{10}H_8$; (c) heksan, C_6H_{14}; (d) NaCl(k).
3. Suda çözünen bileşikler genellikle benzende çözünmezler. Ancak, bazı bileşikler her ikisinde de kısmen çözünebilirler. Aşağıdaki bileşiklerden hangisi bu özelliği taşımaktadır? Nedenini açıklayınız.

(a) *para*-Diklorbenzen (güve kovucu)

(b) Salisil alkol (lokal anestezide kullanılır)

C vitamini

E vitamini

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

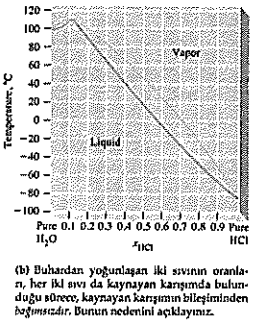
87. Tipik kök birası kütlece %75 lik H_3PO_4 çözeltisinden %0,13 içerir. 12 oz luk kök birası kaç miligram fosfor içerir? Çözeltinin yoğunluğunu 1,00 g/mL; 1 oz = 29,6 mL alınız.
88. Bir sulu çözeltinin litresinde 109,2 g KOH vardır. Çözeltinin yoğunluğu 1,09 g/mL dir. Bu çözeltinin 100,0 mL sini alarak 0,250 *m* KOH çözeltisi hazırlamak için 100,0 mL lik çözeltiye hangi bileşenden kütlece ne kadar eklemelisiniz?
89. Alkollü içkilerin etanol içeriklerini belirtmek için "proof (karat)" terimi 17.yy da ilk kez İngiltere'de ortaya çıkışından beri kullanılmaktadır. O dönemlerde, bir viski örneği barut üzerine dökülür ve ateşe verilirdi. Viski yandıktan sonra barut ateş alırsa, viskiye su katılmadığı "kanıtlanmış" olurdu. Barutun ateş alabilmesi için viskinin hacimce en az %50 etanol içermesi gerekiyordu. Buradan çıkarak, %50 lik etanol çözeltisi "100 proof" olarak nitelendirilmeye başlandı. Buna göre, 80 proof viski hacimce % 40 etanol içermektedir. Aşağıda etanolün bazı sulu çözeltileri ve bunlara ilişkin bazı veriler verilmiştir. *Olabildiğince az hesap yaparak*, 100 proof'tan derişik olan çözeltileri belirleyiniz. Saf etanolün yoğunluğunu 0,79 g/mL alınız.

Etanolün Molaritesi (*M*)	Çözelti Yoğunluğu (g/mL)
0,500	0,977
1,00	0,954
2,00	0,914
4,00	0,855
8,00	0,769
12,00	0,695
16,00	0,636

90. Dört farklı derişimde, dört sulu aseton CH_3COCH_3 çözeltisi hazırlanmıştır: (a) Kütlece % 0,100 CH_3COCH_3; (b) 0,100 M CH_3COCH_3; (c) 0,100 *m* CH_3COCH_3; (d) $\chi_{CH_3COCH_3} = 0{,}100$. 25 °C de bu çözeltilerde buharı ile dengede olan suyun en yüksek kısmi basıncını bulunuz. Ayrıca, bu çözeltiler içinde en düşük donma noktasına sahip olanı bulunuz.
91. Katı bir karışım kütlece %65,0 KNO_3 ve %15,0 K_2SO_4 içermektedir. Bu katıdan alınan 60,0 g lık bir örnek 60 °C ta 130,0 g suya eklenmiştir. Şekil 13-8 e bakarak:
(a) 60 °C ta bütün katı çözünür mü?
(b) Oluşan çözelti 0 °C ye soğutulursa, kütlece ne kadar KNO_3 kristallenir?
(c) 0 °C de K_2SO_4 da kristallenir mi, bulunuz.
92. Ekmekte kütlece %13,8 etanol (CH_3CH_2OH) içeren 2,50 L lik bir çözelti ($d = 0{,}9767$ g/mL) olduğunu varsayın. Bu çözeltiden yararlanarak, −2,0 °C ye kadar konumu sağlayan, *maksimum miktarda* etanol-sudan oluşan antifriz çözeltisi hazırlamanız gerekiyor. Çözeltiye etanol mu, yoksa su mu eklersiniz? Eklediğiniz sıvının kütlesi nedir?
93. Hidrojen klorür serbest bir gazdır. Derişik bir hidroklorik asit [HCl (derş. suda)] şişesi açıldığında, şişeden ise benzer bir duman çıktığı görülür. Bunu nasıl açıklarsınız?

Özellikli Sorular

113. Sinnamaldehit, tropikal bölgelerde yetişen tarçın ağacının ince dal ve yapraklarından elde edilen tarçın yağının ana bileşenidir. Tarçın yağı, gıda tatlandırıcılarının üretiminde, parfüm ve kozmetiklerde kullanılır. Sinnamaldehidin ($C_6H_5CH{=}CHCHO$) normal kaynama noktası 246,0 °C dir. Ancak, bu sıcaklıkta bozunmaya başlar. Bu nedenle, sinnamaldehit normal damıtma ile kolaylıkla saflaştırılamaz. Bunun yerine *su buharı damıtması kullanılır*. Sinnamaldehit ve suyun heterojen karışımı, iki sıvının buhar basınçları toplamı atmosfer basıncına eşit oluncaya kadar ısıtılır. Bu noktada sıvılar buharlaşmaya başlar ve sıcaklık sabit kalır. Buhar karışımı bir soğutucuda soğutulur ve karışmayan iki sıvı elde edilir. Bunlardan biri saf su, diğeri saf sinnamaldehittir. Sinnamaldehidin çeşitli sıcaklıklardaki buhar basınçları şöyledir: 76,1 °C de 1 mmHg; 105, 8 °C de 5 mmHg; 120,0 °C de 10 mmHg. Suyun buhar basınçları Çizelge 13.2 de verilmiştir.
(a) Su buharı damıtmasının meydana geldiği sıcaklık yaklaşık kaçtır?



(b) Buhardan yoğunlaşan iki sıvının oranları, her iki sıvı da kaynayan karışımda bulunduğu sürece, kaynayan karışımın bileşiminden *bağımsızdır*. Bunun nedenini açıklayınız.

Kendi Kendini Deneme Soruları

117. Aşağıdaki terim ya da simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız ya da açıklayınız: (a) χ_B; (b) P^*_A (c) K_f; (d) *i*; (e) etkinlik.
118. Aşağıdaki kavram ya da olayları kısaca açıklayınız: (a) Henry yasası; (b) donma noktası alçalması; (c) yeniden kristallendirme; (d) hidratlaşmış iyon; (e) sulanma.
119. Aşağıda verilen terimler arasındaki önemli farkları belirtiniz: (a) molalite ve molarite; (b) ideal ve ideal olmayan çözelti; (c) doymamış ve aşırı doymuş çözelti; (d) ayrımsal kristallendirme ve ayrımsal damıtma; (e) osmoz ve ters osmoz.
120. 0,010 *M* sulu CH_3OH çözeltisi aşağıdaki çözeltilerden hangisiyle yaklaşık olarak aynı derişimdedir?
(a) % 0,010 CH_3OH (kütle / hacim); (b) % 0,010 *m* CH_3OH; (c) $\chi_{CH_3OH} = 0{,}010$; (d) 0,990 M H_2O.
121. Aşağıdaki karışımlardan hangisinin ideal bir çözelti oluşturması beklenir?
(a) NaCl-H_2O; (b) CH_3CH_2OH-C_6H_6; (c) C_7H_{16}-H_2O; (d) C_7H_{16}-C_6H_{14}.
122. Reaktif olmayan bir gazın sudaki çözünürlüğü için aşağıdaki önermelerden hangisi doğrudur?
(a) gaz basıncının artmasıyla; (b) sıcaklığın artmasıyla; (c) sıcaklık ve basıncın artmasıyla; (d) su ile dengede olan gazın hacminin artmasıyla, çözünürlük artar.
123. Aşağıdaki sulu çözeltilerden hangisinin donma noktası alçalması değeri en düşüktür? (a) 0,010 *m* $MgSO_4$; (b) 0,011 *m* NaCl; (c) 0,018 *m* CH_3CH_2OH; (d) 0,0080 *m* $MgCl_2$
124. Bir ideal sıvı çözeltinin iki bileşeni vardır. Çözelti ile dengede olan buhardaki bileşenlerin mol kesirleri için hangisi doğrudur? (a) her ikisi de 0,50 dir; (b) eşittir, ancak 0,50 değildir; (c) eşit olamazlar; (d) çözücü için 1,00; çözünen için 0,00 dır.
125. 1,12 mol NH_4Cl ün 150,0 g H_2O da çözülmesiyle hazırlanan bir çözelti 30 °C ye ısıtılmıştır. Şekil 13-8 i kullanarak, çözelti doymamış bir çözelti midir, yoksa çözünenin aşırısı kristallenecek midir, belirtiniz.
126. Kan ile izotonik olan NaCl(suda) çözeltisi, % 0,92 lik (kütle/hacim) dir. Bu çözelti için (a) [Na^+]; (b) iyonların toplam molaritesi, (c) 37 °C deki osmotik basınç (d) yaklaşık donma noktası (çözelti yoğunluğunu 1,005 g/mL kabul ediniz) nedir?

Bölüm Sonu Soruları ve Alıştırmaları

Her bir bölüm dört grupta hazırlanan sorularla sona ermektedir:

Alıştırmalar konu alt başlıklarına göre düzenlenmiş ve çiftler halinde yer almaktadırlar. Seçilmiş soruların(soru numarası kırmızı olarak verilenler) cevapları **MasteringChemistry**™ internet sitesinde verilmiştir (www.masteringchemistry.com).

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar önceki *alıştırmalardan* daha ileri düzeyde sorular içermektedir. Buradaki sorular konu başlığı ya da soru tipine göre gruplandırılmamıştır. Bu sorular bölüm içerisindeki çeşitli bilgileri ve bazen birçok bölümdeki bilgileri bir araya getirmektedir. Bazen buradaki sorular, bölüm içerisinde yer almayan yeni fikirleri vermekte ya da yeni fikirleri kovalamaktadır. Seçilmiş soruların (soru numarası kırmızı olarak verilenler) cevapları **MasteringChemistry**™ internet sitesinde verilmiştir (www.masteringchemistry.com).

Özellikli soruları çözmek en üst düzeyde beceri gerektirir. Bu sorulardan bazıları klasik deneylerle ilgilidir; bazıları öğrencilerin veri ve grafikleri yorumlayabilmelerini gerektirir; bazıları problemin çözümü için alternatif teknikler önermektedir; Bazıları kendi alanlarında kapsamlı bir bakış açısını içerir; bazıları ise yeni malzemeleri tanıtmaktadır. Bu sorular, aynı zamanda çeşitli şekillerde faydalanılabilecek bir kaynaktır: örneğin sınıfta tartışma, bireysel olarak üstlenilen ev ödevi veya işbirliği ile yapılan grup çalışması gibi. Seçilmiş soruların (soru numarası kırmızı olarak verilenler) cevapları **MasteringChemistry**™ internet sitesinde verilmiştir (www.masteringchemistry.com).

Kendi Kendini Değerlendirme Soruları, öğrencilerin genellikle sınavlarda ya da küçük sınavlarda sorulan bazı soru tiplerine hazırlanmalarına ve konuları gözden geçirmesine yardımcı olmak amacıyla düzenlenmiştir. Öğrenciler bu soruları, bir sonraki bölüme geçmek için hazır olup olmadıklarına karar vermek ya da mevcut bölümü yeterince öğrenmek için biraz daha vakit harcamaya karar vermek için kullanabilirler. Seçilmiş soruların (soru numarası kırmızı olarak verilenler) cevapları **MasteringChemistry**™ internet sitesinde verilmiştir (www.masteringchemistry.com).

Ekler

Kitabın arkasında verilen beş Ek, önemli bilgiler sağlamaktadır:

Ek A bazı temel **Matematiksel İşlemleri** kısa ve öz olarak derlemektedir.

Ek B bazı temel **Fiziksel Kavramları** kısa ve özlü olarak açıklamaktadır.

Ek C'de **SI birimleri** özetlenmektedir.

Ek D'de 5 faydalı **Veri Çizelgesi** yer almaktadır. Bunlardan "İzotop Kütleleri ve Bollukları" (Çizelge D.5) bu baskıda yeni ilave edilmiştir.

Ek E Kavram Haritası oluşturmak için maddeler halinde bir rehber sunmakta verilen bir örnek ile açıklamaktadır.

Ek F Kitaptaki tüm anahtar terimlerin yer aldığı anahtar terimler **sözlüğü** sunmaktadır.

Ek G Kavram Değerlendirme Sorularının cevaplarını vermektedir.

- Kolay başvuru için, **Periyodik Çizelge** ve **Elementlerin Listeleri** ön kapak içinde sunulmaktadır.
- Kolaylık sağlamak için **Seçilmiş Fiziksel Sabitler, Bazı Dönüştürme Faktörleri, Bazı Faydalı Geometrik Formüller** ve **Önemli Veriler ve Diğer Faydalı Bilgiler**'in kitaptaki yerlerini içeren listeler, arka kapak içinde sunulmaktadır.

İLAVE KAYNAKLAR

Öğretici ve Öğrenciler için

- MasteringChemistry™ internet sitesi (http://www.masteringchemistry.com) birçok öğrenme ve öğretme araçları sunan kapsamlı bir sitedir. MasteringChemistry™ internet sitesi, öğretici için hazırlanmış ödevlere uyarlanabilir "on line" dersler ve değerlendirme sistemi sağlar. Sistem, öğrencilerin güçlük çektikleri hassas kavramlar üzerindeki yoğun araştırmalara dayanarak, onların gereksinimlerine özgü geri bildirim sağlar ve bazı basit soruların cevabı konusunda yol gösterici olabilir. Sonuçta, konulara odaklı bu büyük set, ders çalışma süresinin optimizasyonu ve öğrenme düzeyinin en üst düzeye çıkarılmasına yardımcı olur. Buna ilaveten, MasteringChemistry™ internet sitesi Pearson e-kitap (elektronik kitap)'da içermektedir. Bu güçlü e-Kitap platformu, öğrenci ve öğreticilere not paylaşımı, konuları işaretleyerek vurgulama ve bir görüntüyü ya da sayfayı herhangi bir bozunma olmadan büyütme imkânı sağlar. MasteringChemistry™ internet sitesi ayrıca, öğrenciler için Deneme Sınavı ve Matematik elektronik sürümü-gözden geçirme kiti, Çalışma Alanlarını içermektedir. Öğrenciler, öğretici olmadan Çalışma Alanı içeriğine erişebilirler.

Öğreticiler İçin

- **Öğretici Kaynağı CD-ROM (978-013-509778-6)**, ders sunumunu kolaylaştıran sınıf içi tartışmaları, test oluşturmayı ve öğrenmeyi teşvik edecek şekilde hazırlanmış aşağıdaki 10 kaynağı içermektedir:
  - **Öğretici Kitapçığı,** bölümlere göre düzenlenmiş, dersin ayrıntılı ana hatlarını sağlayan, öğrencilerde sık karşılaşılan kavram yanılgılarını açıklayan, değişik öğretici kaynaklarının ders içinde nasıl bir araya getrilebileceğini gösteren bir rehberdir.
  - **Çözüm Kitapçığı,** bölüm sonlarında bulunan alıştırma ve problemlerin tamamının (öz değerlendirme soruları) tam çözümlerini, ayrıca kitap içerisinde Alıştırma A ve Alıştırma B olarak verilen tüm uygulama sorularının tam cevaplarını içermektedir.
  - **Word Test Bankası (Test Öğe Dosyası)** 2700'den fazla soru içermektedir. Çoğu sorular çoktan seçmeli olmakla birlikte, doğru/yanlış ve kısa-cevap sorular da vardır. Her soruyu takiben; sorunun doğru cevabı, kitaptaki ilgili kısım ve sorunun zorluk düzeyi (kolay için 1; orta için 2 ve zor için 3) verilmektedir.
  - **Bilgisayarlı Test Bankası (Pearson TestGen)** mevcut soruları görüntülemek ve düzenlemek, yeni sorular, küçük sınavlar (kuiz), testler, sınavlar veya ödevler oluşturmak için öğretim üyelerine güçlü bir proğram sunmaktadır. TestGen ayrıca, öğretim üyelerine bir yerel ağ üzerinden testleri elektronik olarak yönetme, değerlendirme ve hazırlanan sonuç-

ları elektronik ya da basılı rapor halinde elde etme imkanı vermektedir.

- **Görsel Sunu 1** kitaptaki bütün şekil ve fotoğrafları Görsel Sunu (Power Point) formatında içermektedir.
- **Görsel Sunu 2,** kitaptaki her bir bölüm için ders ana hatlarını vermektedir.
- **Görsel Sunu 3,** öğrencileri derse bağlamak ve öğretilen kavramların anlaşılıp anlaşılmadığını anında geri-dönüt ile öğrenmek için kullanılabilecek, Kişisel Yanıt Sistemleri için (tıklayarak) sorular sağlamaktadır.
- **Görsel Sunu 4,** kitaptaki bütün çözülmüş Örnekleri, PowerPoint düzeninde içermektedir.
- **Tartışmaya Odaklanma'da (Focus On),** öğrencilere ders kitabında kısaca verilen ve MasteringChemistry™ internet sitesinden (www.masteringchemistry.com) bulabilecekleri, deneme yazıları yer almaktadır.
- **Organik Kimya'da İlave Konular,** Organik Asit ve Bazların incelenmesi; E2 mekanizması için Görsel Çalışma, ve Karboksilik Asitler ve Onların Türevleri: Bölüm 27'de başvurulan Katılma-Eliminasyon Mekazizması. Öğrenciler bunu MasteringChemistry internet sitesinde(www.masteringchemistry.com) bulabilirler.
- **Alıştırmalar ve Bölüm Sonu Seçilmiş Alıştırma ve Problemlerin Cevapları (kitapta kırmızı ile numaralanan sorular),** öğreticilere kolaylık sağlamaktadır. Aynı materyal öğrenciler için de ayrıca MasteringChemistry internet sitesinde(www.masteringchemistry.com) bulunabilir.
- **Tüm Soruların Çözümleri Kitapçığı, basılı olarakta** (978-013-504293-9) elde edilebilir. Öğretici onayı ile, yayıncı tarafından yapılabilecek bazı düzenlemelerden sonra bu kitapçık öğrenciler içinde kullanılabilir hale getirilebilir.
- **Şeffaf Paket** (978-013-703215-0) kitaptaki seçilmiş şekil, çizelge ve fotoğrafların renkli asetatlarını içermektedir.
- Önceden oluşturulmuş **WebCT® Dersi** (978-013-703208-2), kitaba eşlik etmek için hazırlanmıştır.
- **Pearson Teknoloji Uzmanları** fakülte ve yerleşke ders düzenleyicileri ile birlikte, Pearson teknoloji ürünlerinin, değerlendirme araçlarının ve internet kurs malzemelerinin sizlerin gereksinimini karşıladığından emin olmak için birlikte çalıştılar. Bu son derece nitelikli ekip geniş yelpazedeki eğitim kaynaklarını ve medya fornatlarını tam olarak kullanarak, kendilerini öğrencilere yararlı ve yardımcı olmaya adamışlardır. Pearson-Eğitim bölge satış temsilcimizden bu hizmet proğramı hakkında daha fazla bilgi sağlanabilir.
- **e-Ders Kitabı** (978-013-509775-5), geleneksel beklentilerin önüne geçerek, öğrenciler için daha düşük maliyetle ihtiyaçları olan ders kitaplarını ve ders malzemelerini anında çevrimiçi erişim ile sağlar. Dijital e-Kitap öğrenci olarak size para tasarrufundan başka, gerekli konu içeriğini ihtiyaç duyduğunuz anda arayabilmenizi, ve böylece zaman ve enerjiden de tasarruf yapmanızı sağlar. İster ders kitaplarının değerlendirilmesinde olsun, isterse öğrencilerin zorlandıkları kavramlar konusunda ders notları hazırlamada olsun, CourseSmart işlerinizi çok kolaylaştıracaktır. Nasıl olduğunu anlamak için "www.coursesmart/instructors" sayfasının ziyaret ediniz.

Öğrenciler İçin

- **Mastering Chemistry™ Erişim Kartı Şifresi** ile birlikte, kitabın her yeni kopyasını 10 sayfalık Eğitim Kartı izlemektedir (978-013-703212-9). Bu kart kitabın her bölümünde ele alınan bazı temel kavramlar ve konular için uygun bir özdeğerlendirme sağlar.

- **Seçilmiş Soruların Çözümleri Kitapçığı** (978-013-504292-2), bölüm sonundaki tüm alıştırmaların ve kırmızı renk ile numaralandırılan problemlerin tam çözümlerini sağlamaktadır.
- **Matematik Tekrar Kiti** (978-013-612039-1) kitabın her bir bölümü için gerekli olan temel matematik becerilerini gözden geçirir.
- **e-Ders Kitabı** (978-013-509775-5) geleneksel beklentilerin önüne geçerek, ders kitaplarına ve ders malzemelerine anında "çevrimiçi" erişim sağlayarak ortalama %50 zaman ve enerjiden tasarruf sağlar. Herhangi bir bilgisayardan, nerede olusanız olun anlık erişim ile gerekli olan konu içeriğine ulaşabilirsiniz. Cümlelerin altını çizme, boyama gibi vurgu tekniklerini ya da not alma işlemi gibi "çevrimiçi" araçlarını kullanarak, zamandan kazanabilir ve verimli bir çalışma yapabilirsiniz. Tüm avantajlarına "www.coursesmart.com/students" sitesinden bakınız.

TEŞEKKÜR

Bu kitap için yaptıkları biçimsel değerlendirmeler için aşağıdaki öğretim üyelerine teşekkürlerimizi sunarız.

Brian M. Baker *University of Notre Dame*
Robert J. Balahura *University of Guelph*
John Carran *Queen's University*
Chin Li Cheung *University of Nebraska, Lincoln*
Savitri Chandrasekhar *University of Toronto – Scarborough*
H. Floyd Davis *Cornell University*
David Dick *College of the Rockies*
Randall S. Dumont *McMaster University*
Philip Dutton *University of Windsor*
Lucio Gelmini *Grant MacEwan College*
Kevin Grundy *Dalhousie University*
P. Shiv Halasyamani *University of Houston*
C. Alton Hassell *Baylor University*
Sheryl Hemkin *Kenyon College*
Michael Hempstead *York University*
Hugh Horton *Queen's University*
Robert C. Kerber *Stony Brook University*
Pippa Lock *McMaster University*
J. Scott McIndoe *University of Victoria*
Umesh Parshotam *University of Northern British Columbia*
Darrin Richeson *University of Ottawa*
Lawton Shaw *Athabasca University*
Roberta Silerová *John Abbot College*
Andreas Toupadakis *University of California, Davis*
A. van der Est *Brock University*
Rashmi Venkateswaren *University of Ottawa*
Deborah Walker *University of Texas at Austin*
Todd Whitcombe *University of Northern British Columbia*
Milton J. Wieder *Metropolitan State College of Denver*
Vance Williams *Simon Fraser University*

Yeni ilave edilen 27. Bölüm'e sağladıkları değerli yardımlarından dolayı Stephen Forsey'e (University of Waterloo) özellikle teşekkür etmek istiyoruz.

Bu yeni baskının üretimi sırasında, şeçilen bölümlerin teknik kontrollerini yapan aşağıdaki eğitmenlere de teşekkür etmek istiyoruz.

Chin Li Cheung *University of Nebraska, Lincoln*
David Dick *College of the Rockies*
Philip Dutton *University of Windsor*
J. Scott McIndoe *University of Victoria*
Todd Whitcombe *University of Northern British Columbia*
Milton J. Wieder *Metropolitan State College of Denver*

En büyük teşekkürlerimizi kitap baskıya gitmeden önce her sayfayı dikkatle kontrol ederek olağanüstü büyük çabalar gösteren, yazarlarımızdan Raph Petrucci'ye sunmak istiyoruz.

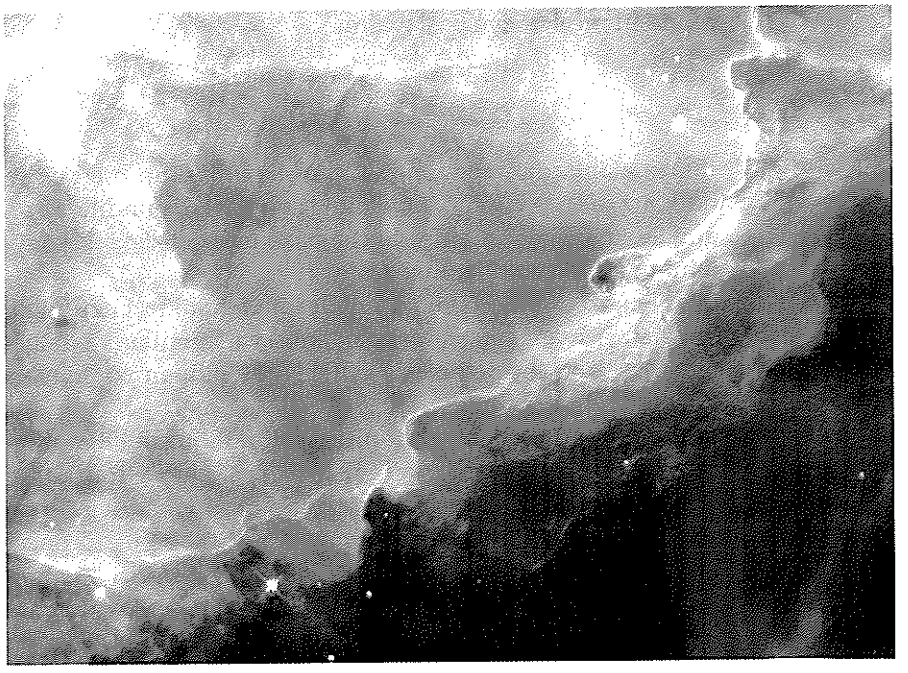
Meslektaşlarımızdan ve öğrencilerimizden aldığımız eleştiriler, bu kitabın bir baskıdan diğerine giderken kaydettiği ilerlemede en önemli unsur olmuştur. Lütfen bize e-posta göndermek için çekinmeyiniz. Sizlerin gözlem ve önerileri bizler için çok önemlidir.

CAREY BISSONNETTE *cbissonn@uwaterloo.ca*
JEFFRY D. MADURA *madura@duq.edu*
F. GEOFFREY HERRING *fgh@chem.ubc.ca*

UYARI: Bu kitapta tanımlanan, formülü ya da resmi verilen pek çok bileşik veya kimyasal tepkime tehlikeli ve zehirlidir. Kitapta verilen hiç bir deneyi, bu iş için düzenlemiş laboratuvarlar dışında ve yetkili bir uzman olmadıkça kendi başınıza yapmaya kalkışmayınız.

1

Madde: Özellikleri ve Ölçümü



Swan Nebula'nın (M17) bir kısmındaki hidrojen gazı ve toz bulutuna (sağ altta) ait Hubble Teleskobu görüntüsü. Hidrojen tarafından yayılan ışının rengi "yeşile" kükürt'ün ki "kırmızıya" ve oksijenin ki "maviye" karşılık gelmektedir. Bu ders kitabında bahsedilen kimyasal elementler Dünyada, muhtemelen de tüm evrende bulunur.

İÇİNDEKİLER

1-1 Bilimsel Yöntem
1-2 Maddenin Özellikleri
1-3 Maddenin Sınıflandırılması
1-4 Maddenin Ölçümü: SI (Metrik) Birimleri
1-5 Yoğunluk ve Yüzde Bileşim: Soru Çözümünde Kullanılması
1-6 Bilimsel Ölçümlerde Belirsizlik
1-7 Anlamlı Rakamlar

"Kimyasal bağımlılığı" tedavi eden bir klinikten "faydalı kimya" ile ilgili bir tiyatro gösterisine, üzerindeki etikette "kimyasal madde eklenmemiştir" yazan yiyeceklere kadar her şey, kimyanın yaşamın ne kadar ayrılmaz bir parçası olduğunu gösterir. Besin maddeleri içinde kimyasal bulunmadığını söyleyen etiketler anlamsızdır. Tüm yiyecekler, organik yetiştirilseler de, tamamen kimyasal maddelerden oluşmuştur. Biz bunu bilerek çalışmalara başlamalıyız.

Çevrelerindeki maddelerle temasta olan insanlar, aslında sürekli olarak kimya uygulamaları yaparlar. Kimyanın ilk uygulamaları arasında camların sırlanması, çömlekçilik, metallerin üretimi için maden cevherlerinin eritilmesi, hayvan derilerinin tabaklanması, kumaş boyaları, peynir, şarap, bira ve sabun yapımı bulunur. Modern bilgilerle her ne kadar kimyacılar maddeyi en küçük bileşenlerine (atom) kadar ayırsalar da, bu bileşenler yeniden bir araya getirildiğinde doğal olmazlar ve çoğunlukla beklenmedik özellikler gösterirler. Buna göre motor yakıtları, plastik, sentetik kumaş, ilaç ve böcek öldürücülerin yapımında kullanılan binlerce kimyasal maddenin hepsi petrolden yapılabilir. Modern kimya bilgileri, sis oluşumu ve stratosferdeki ozon tabakasının tahrip olması gibi çevre için zararlı olan işlemlerin anlaşılması, kontrol edilmesi ve sürdürülebilir yaşamın

anlaşılması için gereklidir. Kimya insanın uğraş verdiği pek çok alanla ilgili olduğundan, merkez bilim olarak adlandırılır.

İlk kimya bilgileri "nasıl yapılır" sorusunu cevaplayan deneme yanılma yoluyla yapılan keşifleri içermekteydi. Modern kimyasal bilgiler ise kimyasal değişikliklerin " nasıl olur" sorusuna ek olarak " neden"lerine de cevap verir. Modern kimya, kuram ve ilkelere dayandırılmış olup, konuya sistematik olarak yaklaşır, ileri kimya ilkelerini gerektirir. Bilimsel gelişmeler, bilim insanlarının çalışmalarını doğru sorular sorarak, bu sorulara cevap verebilen doğru deneyler düzenleyerek ve bulduklarını mantıklı formüllerle açıklayarak gerçekleştirmelerine bağlıdır. Şimdi, bilimsel yöntemleri daha yakından incelemeye başlayalım.

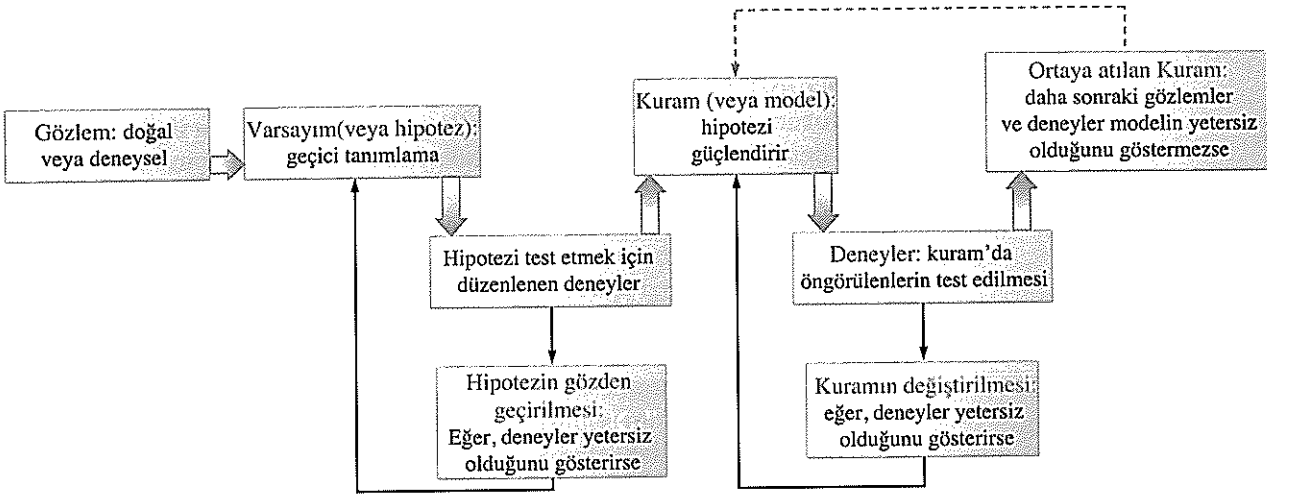
1-1 Bilimsel Yöntem

Bilimi diğer çalışma alanlardan ayıran şey, bilim adamlarının bilgi edinmek için kullandıkları *yöntem* ve elde edilen bilginin özel önemidir. Bilimsel olan bilgi, doğal olayların açıklanmasında, bazen de gelecekteki olayların önceden tahmin edilmesinde kullanabilir.

Eski Yunanlılar bilgi edinmek için, özellikle matematikte bazı güçlü yöntemler geliştirdiler. Yunan yaklaşımı, bazı temel varsayımlar ya da gerekçelerle başlamıştır. Daha sonra, *tümdengelim* olarak bilinen yöntemlerle mutlak sonuçlar mantıklı bir sıra izlemelidir. Örneğin, a = b ve b = c ise o zaman a = c dir. Bununla beraber, tümdengelim bilimsel bilgi edinmek için tek başına yeterli değildir. Yunanlı filozof Aristo hava, toprak, su ve ateşi dört temel madde olarak *varsaymıştır*. Diğer bütün maddelerin bu dört elementin birleşmesiyle oluştuğuna inanmıştır. Birkaç yüzyıl öncesinin kimyacıları (daha çok simyacılar olarak bilinirler) bu dört element kavramını, kurşunu altına dönüştürmek için nafile bir çabayla uygulamaya çalışmışlar, birçok nedenden dolayı (ki bunlardan birisi dört element varsayımının yanlış olmasıdır) başarısız olmuşlardır.

Bilimsel yöntem, onyedinci yüzyılda Galileo, Francis Bacon, Robert Boyle ve Isaac Newton gibi kişilerle başlamıştır. Yöntemde anahtar, başlangıçta hiç varsayım yapmaksızın doğaya ilişkin olayların dikkatli bir şekilde gözlenmesidir. Bir genelleme ya da doğal yasa, bir modelin oluşmasına yetecek kadar gözlemler yapıldıktan sonra formüle edilebilir. **Doğal yasalar,** doğal olayların çoğunlukla matematiksel şekillerle gösterildiği kısa ve öz ifadelerdir. Genel ifade ya da doğal yasalardan muhakemenin oluşması *tümevarım* denen, bir gözlem kümesinden sonuç çıkarabilmektir. Örneğin, onaltıncı yüzyılın başlarında Polonyalı gökbilimci Nicolas Copernicus (1473-1543) astronomiye ilişkin dikkatli gözlemleriyle, öğretilenin tersine, Dünya'nın ve diğer gökcisimlerinin güneş etrafında dairesel bir yörüngede döndüğü sonucunu çıkarmıştır. Oysa o zamana değin, bilimsel çalışmalara dayanmamasına karşın, güneşin ve diğer cisimlerin Dünya'nın etrafında döndüğü sanılıyordu. Copernicus'un ifadesini bir genelleştirme ya da doğal yasa olarak düşünebiliriz. Doğal yasanın bir diğer örneği radyoaktif bozunma yasasıdır. Bu yasa radyoaktif bir maddenin aktif olmayan bir hale gelmesi için geçecek süreyi ifade eder.

Bir doğal yasanın başarısı, gözlemleri açıklayabilme ve yeni olayları tahmin edebilme yeteneğine bağlıdır. Copernicus'un çalışmasının büyük başarısı, gezegenlerin gelecekteki konumlarını çağdaşlarına göre daha doğru olarak tahmin etmesinden ileri gelir. Bununla birlikte, bir doğal yasayı *mutlak* bir gerçek olarak düşünmememiz gerekir. Gelecekte yapılacak deneyler bu doğal yasayı geliştirebilir ya da değiştirebilir. Örneğin, Copernicus'un fikirleri yarım asır sonra gezegenlerin dairesel değil, elips yörüngelerde döndüğünü gösteren Johannes Kepler tarafından değişikli-



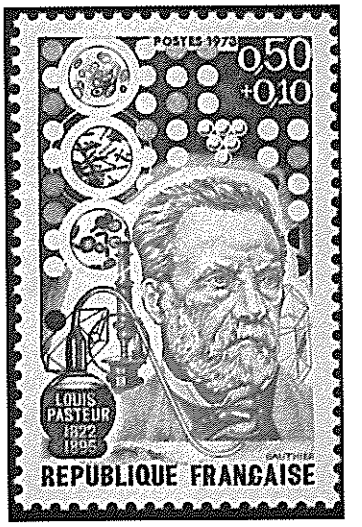
▲ ŞEKİL 1-1
Bilimsel yöntem akış şeması

ğe uğratılmıştır. Doğal yasaları doğrulamak için, bilim insanlarının planladıkları *deney* sonuçlarının bu yasaları desteklemesi gerekir.

Varsayım (hipotez), bir doğal yasanın kesinleşmemiş bir açıklamasıdır. Eğer bir varsayım deneysel sonuçlarla çelişmiyorsa, çoğu zaman kurama dönüşür. Daha geniş anlamda **kuram,** doğal olayları açıklamak ve bunlarla ilgili daha fazla öngörülerde bulunabilmek için kullanılan bir model ya da doğaya bakış tarzıdır. Farklı ya da zıt kuramlar önerildiği zaman, öngörüsünde en başarılı olan çoğunlukla tercih edilir. Ayrıca, en az sayıda varsayım içeren—en sade— kuram tercih edilir. Zamanla yeni kanıtlar toplandıkça, birçok bilimsel kuram değiştirilir ve bazıları da geçerliliğini yitirir.

Bilimsel yöntem gözlem ve deneylerin bir araya getirilmesi ile yasa, hipotez ve kuramların formülleştirilmesidir. Bilimsel yöntem, Şekil 1-1'de akış diyagramı ile gösterilmiştir. Bilim adamları kendi alanlarında "*paradigma*" olarak bilinen bir düşünce modeli oluşturabilir. Bazı modeller başlangıçta başarılı olabilir ancak daha sonra başarısız olabilir. Böyle durumlarda yeni düşünce modellerine ihtiyaç duyulur veya bazen söylenildiği gibi "paradigma kaymaları" gözlenir. Bu durumda yöntem sorgulanır, bazı kişilerin öngördüğü değişikliğe ihtiyaç duyulur. Yani, modern bilim insanlarının farklı etkinlikleri burada sunulan basitleştirilmiş bilimsel yöntemin açıklamasından daha karmaşıktır.* Her zaman yemek kitabı kullanır gibi sadece bir dizi işlemin izlenmesi bilimsel başarıyı garanti etmeyecektir.

Bir diğer faktör ise bilimsel keşifteki şans veya tesadüflerdir. Bazı keşifler tesadüfen yapılmıştır. Örneğin 1839'da Amerikalı mucit Charles Goodyear, doğal kauçuğu soğukta daha az kırılgan, sıcakta ise daha az yapışkan yapacak bir işlemi arıyordu. Bu çalışma sırasında doğal kauçuk-kükürt karışımı, kaza ile sıcak soba üzerine döküldü ve oluşan ürünün tamamen aradığı özelliklere sahip olduğunu gördü. X-ışınları, radyoaktivite ve penisilin ise raslantı ile bulunan diğer keşiflerdir. Bu yüzden bilim adamları ve mucitler beklenmedik gözlemlere karşı uyanık olmalıdırlar. Belki de hiçbir kimse "şans hazırlıklı düşünceden yanadır" diye yazan Louis Pasteur kadar bu olayların farkında değildir.



▲ **Lois Pasteur (1822-1895).** Bilimsel yöntemin bu büyük uygulayıcısı, hastalıkta mikrop kuramını geliştirmiş, sütün "pasterizasyon" yoluyla sterilizasyonunu ve kuduz aşısını bulmuştur. Bazılarınca tüm zamanların en büyük hekimidir. Aslında o bir hekim değil, eğitimi ve mesleği ile bir kimyacıydı.

1-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

"İstisna kuralı kanıtlar" genel söylemi, bilimsel yöntemi açıklayan iyi bir söz müdür? Açıklayınız.

◀ "Kavram değerlendirilmesi" sorularının cevapları Ek-G' de verilmektedir.

*W. Harwood, *JCST*, 33, 29 (2004). *JCST, Journal of College Science Teaching'* in kısaltmasıdır. .

1-2 Maddenin Özellikleri

Kimya sözlük tanımı genellikle *madde, bileşim* ve *özellik* terimlerini içerir. Bu durumda " kimya, maddenin bileşim ve özellikleriyle ilgilenen bilimdir" denebilir. Bu ve bundan sonraki kesimlerde kimyanın ne olduğunu daha iyi anlayabilmek için bu üç terimle ilgili temel fikirleri irdeleyeceğiz.

Madde boşlukta yer tutan, *kütle* denen bir özelliğe sahip ve eylemsiz olan bir nesnedir. Her insan bir madde topluluğudur. Biz hepimiz boşlukta yer kaplarız ve kütlemizi ağırlık olarak ifade ederiz. (Kütle ve ağırlık Kesim 1-4 de ayrıntılı olarak verilmektedir. Eylemsizlik Ek B'de tanımlanmıştır). Çevremizde gördüğümüz tüm nesneler madde kapsamına girer. Atmosferdeki gazlar, gözle görünmeseler bile birer maddedir, boşlukta yer kaplarlar ve kütleleri vardır. Güneş ışığı ise bir madde değildir, daha çok bir enerji şeklidir. Enerji kavramı daha ilerideki bölümlerde anlatılacaktır.

Bileşim bir madde örneğinin bileşenlerini ve bunların madde içindeki bağıl oranlarını belirtir. Doğal su, iki basit maddenin (hidrojen ve oksijen) sabit ve belirli oranlardaki bileşimidir. Bir kimyacı suyun kütlece %11,19 hidrojen ve % 88,81 oksijenden oluştuğunu söyleyebilir. Ağartıcı ve mikrop öldürücü (antiseptik) madde olarak kullanılan hidrojen peroksit, hidrojen ve oksijenden oluşur, ancak farklı bileşime sahiptir. Hidrojen peroksit kütlece %5,93 hidrojen ve %94,07 oksijenden oluşur.

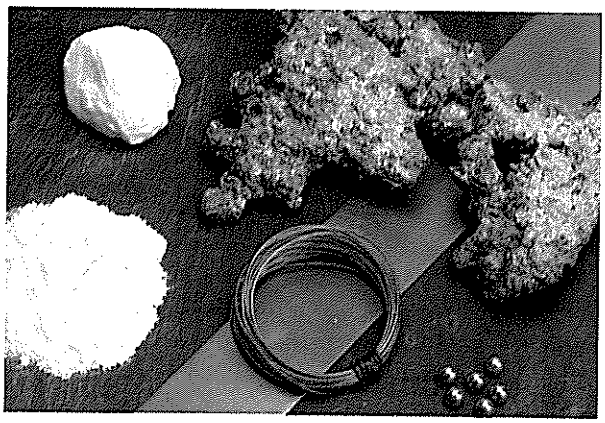
Özellik, bir madde örneğini başka madde örneklerinden ayıran niteliklerdir ve daha sonra irdelenecektir. Maddenin özellikleri genel olarak iki genel sınıfta toplanacaktır: Fiziksel ve kimyasal özellikler.

Fiziksel Özellikler ve Fiziksel Değişimler

Fiziksel özellik bir maddenin bileşimi değişmeden gösterdiği özelliktir. Örneğin, *renk* bir fiziksel özellik olup, kızıl-kahverengi bir katı olan bakır ile yeşil renkli bir katı olan kükürt arasındaki farkı ayırt edebilmemize yarar (Şekil 1-2).

Bakırın bir diğer fiziksel özelliği çekiçle dövülerek ince yaprak veya folyo haline getirilebilmesidir (Bakınız Şekil 1-2). Katıların bu özelliğine *dövülebilirlik (veya şekil verilebilirlik)* denebilir. Kükürt dövülemez. Eğer kükürt yığını çekiçle dövülürse toz şeklinde ufalanır. Kükürt gevrek ve *kırılgandır*. Bakırın kükürtte bulunmayan diğer özellikleri ince tel halinde çekilebilmesidir. Ayrıca kükürt bakıra göre daha az ısı ve elektriği iletir.

Bazen bir madde örneği değişime uğrayarak fiziksel görünümünü değiştirebilir. **Fiziksel değişmede** numunenin bazı fiziksel özellikleri değişir, ancak bileşimi değişmeden kalır. Sıvı su katı su şeklinde (buz) donduğunda şüphesiz ki farklı görünür ve daha birçok bakımdan da farklılık gösterir. Böyle olmakla beraber su kütlece %11,19 hidrojen ve %88,81 oksijen olarak kalır.

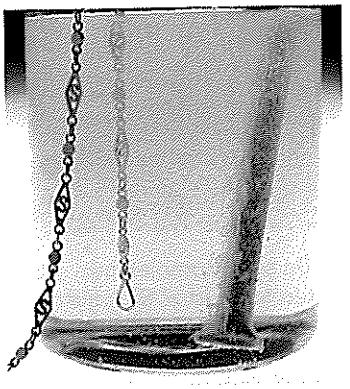


▶ ŞEKİL 1-2
Kükürt ve bakırın fiziksel özellikleri
Topak halindeki kükürt (solda) çekiçle toz halinde ufalanır. Bakır (sağda) doğal bakırdan büyük külçeler halinde elde edilir sonra küçük top haline getirilebilir. Bakır çekiçle ince levha haline dönüştürülebilir ve tel halinde çekilebilir.

Kimyasal Özellikler ve Kimyasal Değişimler

Kimyasal değişme ya da **bir kimyasal tepkimede** bir ya da daha fazla madde, farklı bileşimlerde yeni tür maddelere dönüşür. Kimyasal değişimin belirlenmesindeki anahtar faktör, madde *bileşiminde meydana gelen değişimin* gözlenmesidir. Kâğıdın yanması bir kimyasal değişimdir. Kağıt karmaşık yapıda bir maddedir; ancak temel olarak karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmuştur. Başlıca yanma ürünü iki gaz olup, biri karbon ve oksijenden meydana gelmiş olan karbon dioksit, diğeri hidrojen ve oksijenden meydana gelmiş olan sudur (buhar halinde). Kâğıdın yanması kimyasal özelliğe bir örnektir. Buna göre, **kimyasal özellik** belirli koşullarda bir maddenin madde bileşiminde bir değişme gidebilmesi (veya gidememesi) özelliğidir.

Çinko, hidroklorik asit çözeltisi ile tepkimeye girerek sulu ortamda çinko klorür çözeltisini ve hidrojen gazını oluşturur (Şekil 1-3). Bu tepkime çinkonun ayırt edici kimyasal özelliklerinden birisidir; ancak altının hidroklorik asitle tepkimeye girmemesi de altının kimyasal özelliklerinden birisidir. Sodyum yalnızca hidroklorik asitle değil, aynı zamanda su ile de tepkime verir. Çinko, altın ve sodyumun bazı fiziksel özellikleri benzerdir. Örneğin her biri dövülebilir, ısı ve elektriği iyi iletir. Buna karşın çinko, altın ve sodyumun kimyasal özelliklerinin çoğu farklıdır. Bu farklılıkların bilinmesi, neden çinkonun su ile tepkimeye girmediğini, çatı çivilerinde, çatı oluklarında ve çatı kaplamalarında kullanılabildiğini, ancak sodyumun kullanılamadığını anlayabilmemize yardımcı olur. Ayrıca kimyasal etkinliği olmayan altının neden mücevher ve para olarak değerli olduğunu da anlayabiliriz: Altın kararmaz ve paslanmaz. İleride kimya ile ilgili konularımızda, neden maddelerin farklı özellikler gösterdiğini ve bu farklılıkların onları kullanma şeklimizi nasıl belirlediğini öğreneceğiz.

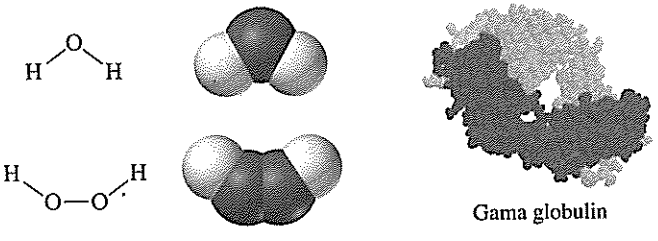


▲ ŞEKİL 1-3
Çinko ve altının kimyasal özelliği: Hidroklorik asitle tepkimeleri
Çinko ile kaplanmış (galvanize edilmiş) çivi hidroklorik asitle tepkimeye girer ve çivi yüzeyinden hidrojen gazı kabarcıkları çıkar. Altın zincir hidroklorik asitten etkilenmez. Bu fotoğrafta, çinko kaplama asitle tepkimeye girerek tükenmiş ve alttaki demir çivi ortaya çıkmıştır. Demirin hidroklorik asitle etkileşmesi asit çözeltisini renklendirir.

1-3 Maddenin Sınıflandırılması

Madde atom denilen çok küçük birimlerden oluşur. Her farklı tip atom farklı kimyasal elementleri oluşturur. Günümüzde Uluslararası Saf ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) 112 tane elementi tanımıştır. Tüm maddeler sadece bu elementlerden meydana gelmiştir. Elementler, iyi bildiğimiz karbon, demir ve gümüş gibi elementlerden, lütesyum ve tulyum gibi daha az tanınanlara kadar uzanır. Elementlerin 90 kadarı doğal kaynaklardan elde edilebilir. Geri kalanları doğal olarak oluşmamıştır ve sadece laboratuvarlarda oluşturulmuşlardır. Ön kapağın içinde hem elementlerin tam listesini, hem de periyodik çizelge olarak bilinen özel düzenlenmiş çizelgesini bulacaksınız. Periyodik çizelge elementlerin kimya dizinidir. Bu çizelge Bölüm 2 de anlatılacak ve tüm kitap boyunca kullanılacaktır.

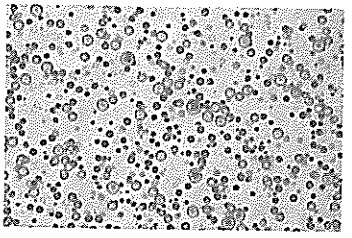
Kimyasal **bileşikler** iki ya da daha fazla element atomunun birleşmesiyle oluşan maddelerdir. Bilim adamları milyonlarca farklı kimyasal bileşik tanımlamışlardır. Bazen bir bileşiğin tek bir molekülünü ayırabiliriz. **Molekül**, bileşiği oluşturan atomları, bileşikteki ile aynı oranda içeren en küçük birimdir. Su molekülü, üç atom içerir: iki hidrojen atomu bir oksijen atomuyla birleşmiştir. Hidrojen peroksit molekülü iki hidrojen atomu ve iki oksijen atomu içerir. Hidrojen peroksitte iki oksijen atomu birbirine bağlıdır ve her oksijen atomuna bir hidrojen bağlanmıştır. Buna karşılık, kan proteini gama globulin 19 996 atomdan oluşur; ancak bunlar karbon, hidrojen, oksijen ve azot olmak üzere sadece dört çeşittir.



Gama globulin

◀ Uluslararası Saf ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) atom kütlesi ve benzeri ölçümler için standartlar koyan, kimyasal adlandırma kuralları belirleyen ve terminoloji üreten Dünyaca tanınmış yetkili bir kurumdur. IUPAC'ın diğer birçok etkinlikleri arasında bilimsel dergilerinin, teknik raporların, kimya veri tabanlarının basılması da yer almaktadır. Bunların birçoğu www.iupac.org adresinde mevcuttur.

◀ Atom, atom numarası diye bilinen bir özellikle tanınır (bakınız Kesim 2-3). Atom numarası 113'den 116'ya kadar olan ve 118 nolu elementler son yıllarda bildirilen yeni elementler olup, doğrulanması için beklemektedirler. Süper ağır elementlerin tanımlanması çok zordur; sadece birkaç atomu anlık oluşturulurlar ve hemen anında parçalanırlar.



▲ Bu şekil homojen mi yoksa heterojen midir? Bir mikroskopla bakıldığında homojenize edilmiş sütün sulu bir ortamda dağılmış yağ küreciklerinden oluştuğu görülür. Homojenize süt *heterojen* bir karışımdır.

Bir element ya da bileşiğin bileşimi ve özellikleri, verilen bir örneğin her tarafında aynıdır ve bir örnekten diğerine değişmez. Element ve bileşiklere **saf madde** adı verilir (Kimyasal anlamda *saf madde* terimi sadece element ve bileşikler için kullanılmalıdır). Madde *karışımlarının* bileşimleri ve özellikleri bir maddeden diğerine değişebilir. Bunlardan bileşimi ve özellikleri tüm karışım içerisinde aynı olanlara **homojen karışım** ya da *çözelti* denir. Sakkaroz'un (kamış şekeri) sudaki bir çözeltisinde, çözeltinin her yeri tatlıdır, ancak şeker ve suyun farklı oranlarda olduğu bir başka sakkaroz çözeltisindeki tatlılık oldukça farklı olabilir. Normal hava çeşitli gazların, başlıca azot ve oksijen *elementlerinin* homojen bir karışımıdır. Deniz suyu su, sodyum klorür (tuz) ve diğer *bileşiklerden* oluşan bir çözeltidir. Benzin düzinelerce bileşiğin homojen bir karışımı veya çözeltisidir.

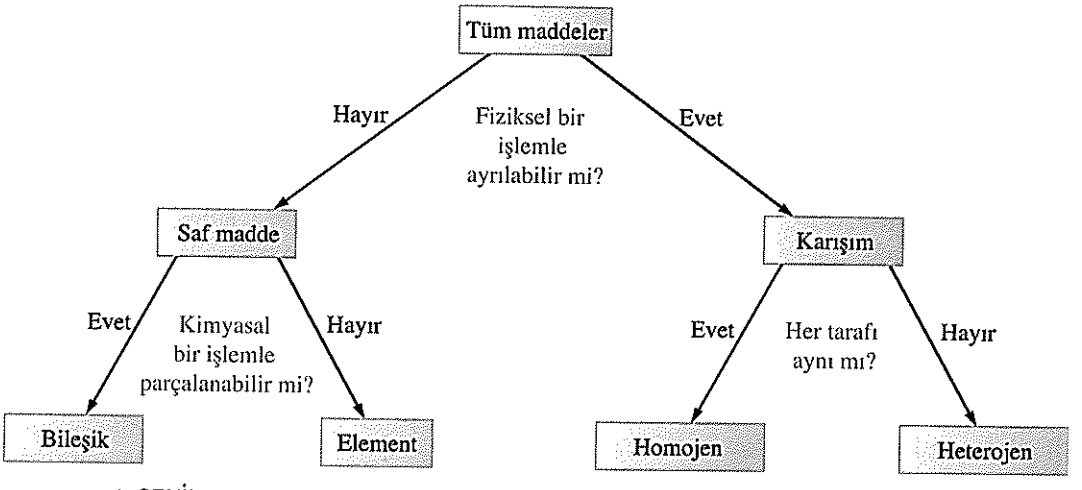
Kum ve su karışımı örneğinde olduğu gibi, **heterojen karışımlarda** bileşenler her bölgede aynı değildir. Bu nedenle, karışımın bir bölgesinden diğerine bileşim ve fiziksel özellikler değişebilir. Örneğin, salata sosu, beton levha ya da bir bitki yaprağının tümü heterojendir. Maddeyi elementler, bileşikler, homojen ve heterojen karışımlar olarak sınıflandıran şema Şekil 1-4 de özetlenmiştir.

Karışımların Ayrılması

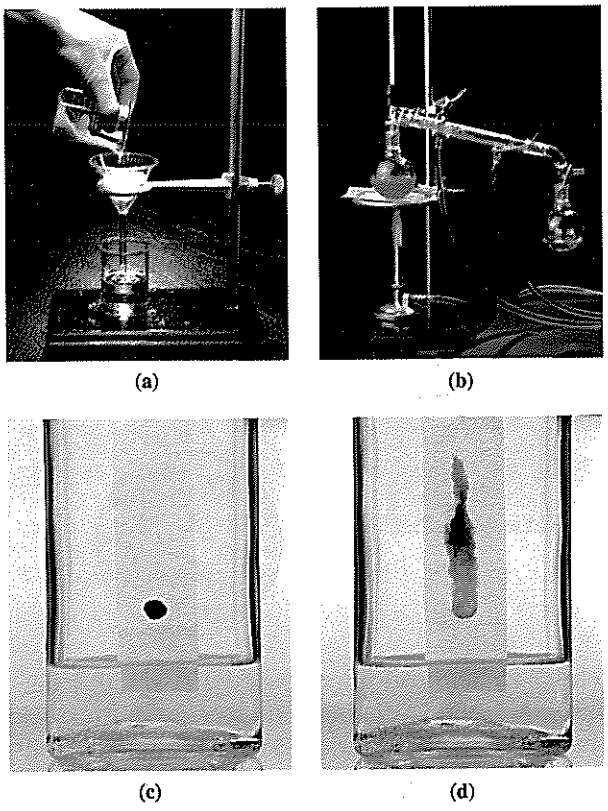
▶ Bileşimin değişkenliği, maddenin çeşitli sınıflarını ayırt etmemizi sağlar.

Bir karışım uygun fiziksel yöntemlerle bileşenlerine ayrılabilir. Kum ve suyun heterojen karışımını bir kez daha ele alalım. Eğer bu karışım gözenekli bir süzgeç kâğıdı yerleştirilmiş olan bir huniye dökülürse, su süzgeç kâğıdından geçer, kum ise süzgeç kâğıdında kalır. Bir sıvı içerinde çözünmeden asılı kalan bir katının, bu karışımdan süzerek ayrılma işlemine *süzme* adı verilir (Şekil 1-5a). Siz bu işlemi büyük olasılıkla laboratuvarda gerçekleştireceksiniz. Bunun tersine, örneğin bakır (II) sülfatın sudaki homojen karışımı (çözelti), tüm bileşenler kâğıttan geçeceği için süzülerek ayrılamaz. Bununla birlikte, bakır (II) sülfat ve su çözeltisini kaynatarak ayırabiliriz. *Distilasyon* denilen bu işlemde kaynayan çözeltinin buharının yoğunlaştırılmasıyla saf sıvı tekrar elde edilir. Sudaki bakır (II) sülfat çözelti-

▶ Çözeltiler burada tanımlandığı gibi gaz veya sıvı olabildiği gibi katı da olabilir. Bazı alaşımlar katı çözeltilere örnektir.



▲ ŞEKİL 1-4
Maddenin sınıflandırılma şeması
Her madde örneği ya saf maddedir (element veya bileşik) ya da karışımıdır. Molekül düzeyinde bir element tek tür atom içerirken, bileşik iki veya daha çok farklı atom türlerinin bir arada bulunduğu moleküllerden oluşur. Homojen bir karışımlarda atom veya moleküller, molekül düzeyinde rastgele karışmışlardır. Heterojen karışımlarda bileşenler oktan molekülünün (benzin bileşenidir) su yüzeyinde yüzmesi gibi fiziksel olarak ayrılmıştır.



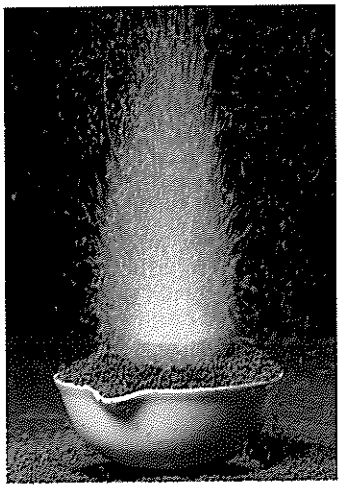
◀ ŞEKİL 1-5
Karışımların ayrılması: fiziksel bir işlem
(a) Heterojen bir karışımın süzme ile ayrılması: Sıvı heksan geçerken katı bakır (II) sülfat süzgeç kâğıdında kalır. **(b)** Homojen bir karışımın damıtma ile ayrılması: Su önce buharlaşıp sonra yoğunlaşarak sağdaki balonda toplanırken, bakır (II) sülfat soldaki balonda kalır. **(c)** Mürekkebin kromatografik olarak bileşenlerine ayrılması: Su kâğıt üzerinde ilerlemeye başladığında siyah mürekkep, suyun biraz üstünde koyu bir leke olarak görülür. **(d)** Su mürekkebin renkli bileşenlerini çözer ve bu bileşenler, kâğıda tutunma eğilimlerinin farklılığına göre kâğıt üzerinde farklı bölgelere kadar yürürler.

sinin kaynatılmasıyla, tüm su bu şekilde uzaklaştırılır ve geride katı bakır (II) sülfat kalır (Şekil 1-5b).

Modern kimyacılar için, geçerli olan diğer bir ayırma yöntemi, ayrılacak olan bileşiklerin kâğıt ve nişasta gibi katı yüzeylerdeki farklı tutunma eğilimlerine bağlı olan yöntemdir. İşte **kromatografi** tekniği bu ilkeye dayanmaktadır. Şekil 1-5c-d'de görüldüğü gibi, bir süzgeç kâğıdı üzerine damlatılan mürekkebin bileşenlerine ayrılmasıyla gerçekleştirilen *kromatografik* ayırma oldukça çarpıcıdır.

Bileşiklerin Ayrışması

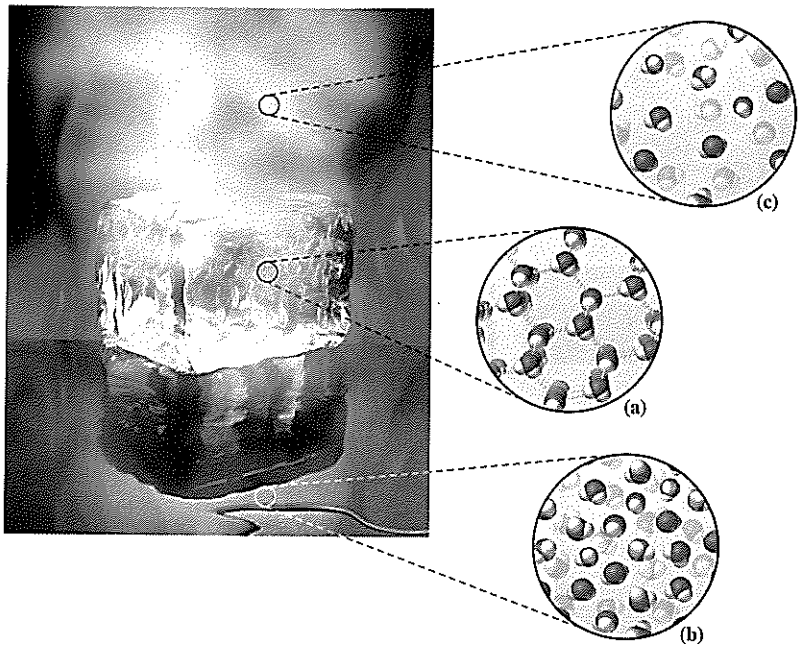
Fiziksel değişmeler boyunca, bir kimyasal bileşiğin yapısında hiç bir değişiklik olmaz. Ancak *kimyasal değişme* ile kendini oluşturan elementlerine ayrıştırılabilir. Bileşiklerin onları oluşturan elementlerine ayrıştırılması, karışımların basitçe fiziksel ayrıştırılmasından çok daha zor bir konudur. Örneğin demir oksit filizlerinden saf demirin özetlenmesi yüksek sıcaklıkta bir fırın işlemi gerektirir. Magnezyum klorürden saf magnezyumun endüstriyel üretimi için elektrik gereklidir. Genel olarak bir bileşiğin kimyasal bir tepkime ile diğer bir bileşiğe dönüştürülmesi, bileşiğin kendini oluşturan elementlere ayrılmasından daha kolaydır. Örneğin, amonyum dikromat ısıtıldığı zaman krom (III) oksit, azot ve suya ayrışır. Bir zamanlar bir volkanı canlandırmak için kullanılan bu tepkime Şekil 1-6 da gösterilmiştir.



▲ ŞEKİL 1-6
Kimyasal bir değişim: Amonyum dikromatın ayrışması (bozunması)

Maddenin Halleri

Madde genel olarak üç *halden* birinde bulunur; katı, sıvı ya da gaz. Bir **katıda** atomlar ya da moleküller yakın temas halinde bulunurlar. Bazen de *kristal* diye bilinen çok düzenli bir yapıya sahiptirler. Bir katının belirli bir şekli vardır. Genellikle, bir **sıvı** içerisindeki atom ya da moleküller bir katınınkine göre birbirlerinden daha uzaktırlar. Bu atom ya da moleküllerin hareketliliği sıvıya en önemli ayırt edici özellik olan akışkanlık özelliğini verir. Böylece sıvılar bulunduğu kabın tabanını kaplarlar ve kabın şekli-



▶ŞEKİL 1-7
Maddenin makroskopik ve mikroskobik görünümleri
Resim, ısıtılan bir yüzeydeki bir buz kütlesinin üç halini göstermektedir. Yuvarlak şekiller kimyacıların, iki hidrojen ve bir oksijen atomundan oluşan suyun üç halini mikroskopik olarak nasıl anladıklarını göstermek için verilmiştir. Buz içerisinde **(a)** moleküller birbirine çok yakın sert bir çerçevede istiflenmiştir. Sıvı suda **(b)** moleküller birbirlerine oldukça yakın istiflenmiştir ancak serbestçe hareket edebilirler. Suyun gaz halinde **(c)** moleküller birbiriden oldukça geniş bir mesafeyle ayrılmışlardır.

ni alırlar. Bir **gazda** ise atomlar ya da moleküller arasındaki uzaklık bir sıvıya göre çok daha büyüktür. Bir gaz daima bulunduğu kabı doldurmak üzere genleşir. Koşullara bağlı olarak, bir madde yalnızca bir halde olabildiği gibi iki veya üç halde de bulunabilir. Örneğin küçük bir gölette bulunan buz parçası baharda erimeye başladığında, katı ve sıvı olmak üzere iki halde bulunur (Aslında göl üzerindeki su buharını da düşünürsek üç hal). Suyun üç hali Şekil 1-7'de iki düzeyde gösterilmiştir. *Makroskopik düzey*, cisimlerin dış görünüşü yoluyla maddenin gözlerimizce nasıl algıladığına bağlıdır.

Mikroskopik düzey ise maddeyi kimyacıların algıladığı şekilde, yani atomlar, moleküller ve bunların davranışına göre tanımlar. Bu kitapta maddenin gözlenebilir birçok makroskopik özelliklerini tanımlayıp, bu özellikleri açıklayabilmek için sıkça atom ya da molekül düzeyine, yani mikroskopik seviyeye bakacağız.

1-4 Maddenin Ölçülmesi: SI (Metrik) Birimleri

▶ Sayısal olmayan bilgi *nitel* bir bilgidir, örneğin mavi renk gibi.

Kimya *nicel* bir bilimdir. Bu ise çoğu zaman bir maddenin herhangi bir özelliğini ölçebileceğimiz ve bunu bilinen değerde bir özelliğe sahip olan bir standart ile **karşılaştırabileceğimiz** anlamına gelir. Ölçümü, bir *sayı* ile *birimin* çarpımı olarak ifade ederiz. Birim, ölçülen niceliğin karşılaştırıldığı standardı gösterir. Futbolda oyun alanının uzunluğu 100 yd dediğimiz zaman, bu uzunluğun yard diye bilinen bir standart uzunluğun 100 katı olduğu anlamı çıkar. Bu kesimde kimyacılar için önemli bazı temel ölçüm birimlerine giriş yapacağız.

Ölçümde bilimsel sistem *"Systeme Internationale d'Unites"*, yani "Uluslararası Birimler Sistemi" diye bilinir ve **SI** şeklinde kısaltılır. Bu sistem *metre* (m) olarak bilinen ve uzunluk birimini temel alan metrik sistemin modern şeklidir. İlk olarak ekvatordan kuzey kutbuna kadar olan uzaklığın 1/10000000'i metre olarak tanımlanmıştır ve buna eşdeğer bir uzunluk 1 m olarak Paris'te saklanmaktadır. Ne yazık ki bu uzunluk sıcaklıkla değişir ve her zaman tam olarak aynı kalmaz. SI sistemi standart metal çubuk yerine, değişmeyen ve her yerde aynı kalabilen bir standart koymuştur. Buna göre; "1 metre, ışığın vakumda 1/299792458 saniyede kat ettiği mesafedir." Uzunluk SI sisteminde yedi temel birimden biridir (Bakınız Çizelge 1.1). Diğer tüm fiziksel nicelikler bu yedi birimden türetilen birimlere sahiptirler. SI

▶ *Metrenin tanımı* eskiden ^{86}Kr atomunun atomik spektrumuna dayanırken 1983'de ışığın hızı olarak değiştirildi. Uygulamada ışığın hızı $2{,}99792458 \times 10^8$ m/s olarak tanımlanmaktadır.

ÇİZELGE 1.1 Temel SI Birimleri

Fiziksel Miktar	Birim	Kısaltma
Uzunluk	metre[a]	m
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Sıcaklık	kelvin	K
Madde miktarı[b]	mol	mol
Elektrik akımı[c]	amper	A
Aydınlık şiddeti[d]	kandil	cd

[a] Bu birim İngilizce'de "meter"dir; ancak biz "metre" olarak telaffuz edeceğiz.

[b] Mol, Kesim 2-7'de verilmiştir.

[c] Elektrik akımı Ek B'de ve Bölüm 20'de tanımlanmıştır.

[d] Aydınlık şiddeti bu kitap içeriğinde ele alınmamıştır.

ÇİZELGE 1.2 SI Önekleri

Kat	Önek
10^{18}	eksa (E)
10^{15}	peta (P)
10^{12}	tera (T)
10^{9}	jiga (G)
10^{6}	mega (M)
10^{3}	kilo (k)
10^{2}	hekto (h)
10	deka (da)
10^{-1}	desi (d)
10^{-2}	santi (c)
10^{-3}	mili (m)
10^{-6}	mikro (μ)[a]
10^{-9}	nano (n)
10^{-12}	piko (p)
10^{-15}	femto (f)
10^{-18}	atto (a)
10^{-21}	zepto (z)
10^{-24}	yokto (y)

[a] Yunan harfi μ ("mü okunur").

ondalıklı bir sistemdir. Temel birimden, on'un kuvvetleri kadar farklılık gösteren nicelikler, öneklerle belirtilmiştir. Örneğin, *kilo* öneki temel birimin *bin katını* (10^3) gösterir ve *k* olarak kısaltılır. Buna göre 1 kilo metre = 1000 metre, ya da 1 km = 1000 m'dir. SI önekleri Çizelge 1-2 de verilmiştir. Kimyada pek çok ölçüm SI birimleriyle yapılır. Kilometreyi metreye çevirirken olduğu gibi, bazen SI birimlerini birbirlerine çevirebiliriz. Diğer durumlarda, ölçümleri SI olmayan birimleri SI birimlerine veya SI birimlerini SI olmayan birimlere çevirerek ifade etmemiz gerekebilir. Bütün bu işlemlerde, çevrim yolu diye bilinen bir düzenle bir *çevirme faktörü* veya bir seri çevirme faktörü kullanabiliriz. Bu bölümün sonunda *boyut analizi* olarak bilinen problem çözüm yönteminde, çevrim yolunun uygulamasını yapacağız. Bu yöntem Ek-A'da daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

◀ En yaygın kullanılan SI ön eklerini (G, M, k, d, c, m, μ, n ve p gibi) *ezberlemek* iyi olur; çünkü SI *ön*eklerini bilmeden bilim dünyasında yaşayamazsınız.

Kütle

Kütle, bir cisimdeki madde miktarını tanımlar. SI'de kütlenin standardı 1 *kilogram* (kg)'dır. Bu birim kimyadaki uygulamaların çoğu için oldukça büyüktür. Bu nedenle daha yaygın olarak kullanılan *gram* (g) birimini kullanırız (bir gram yaklaşık üç aspirin tabletinin kütlesidir).

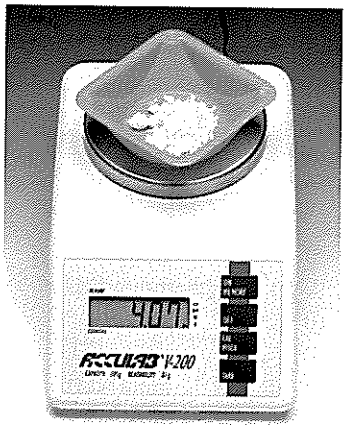
Ağırlık bir cisim üzerindeki yerçekimi kuvvetidir. Aşağıdaki matematiksel eşitliklerde gösterildiği gibi, kütle ile doğru orantılıdır.

$$W \propto m \qquad \text{ve} \qquad W = g \times m \tag{1.1}$$

◀ $\propto$ simgesi "orantılıdır" anlamındadır. Bu, eşitlik işareti ve orantı katsayısı ile yer değiştirilebilir. Eşitlik (1.1)'deki sabit, yer çekimi ivmesinden kaynaklanan *g*'dir. (Ek B ye bakınız).

Bir cismin kütlesi (m) nerede ve nasıl ölçüldüğüne bağlı olmaksızın sabittir. Diğer taraftan ağırlığı (W) değişebilir, çünkü yerçekimi ivmesi (g) yeryüzünde bir yerden başka bir yere az da olsa değişir. Bu yüzden, Rusya'da St. Petersburg'da 100,0 kg ağırlığındaki bir cismin Panama'daki ağırlığı sadece 99,6 kg'dır (yaklaşık %0,4 daha az). Aynı cisim ayda yalnızca 17 kg ağırlığındadır. Cismin ağırlığı bir yerden bir yere değişmesine rağmen, kütlesi her yerde aynıdır. *Ağırlık* ve *kütle* terimleri sıkça birbirinin yerine kullanılır, ancak madde miktarının ölçüsü sadece kütledir. Kütle ölçümünde en yaygın kullanılan laboratuvar aleti terazi olarak bilinir (tartı, yanlış olarak, terazi diye kullanılır).

Bir tartıda çalışma ilkesi şöyledir. Ölçülecek olan bilinmeyen kütle üzerine etki eden yerçekimi kuvvetine eşit büyüklükte ve kesin ölçülebilen karşı koyma kuvvetinin bulunmasıdır. Eski tip terazilerde bu denkleştirme, kütlesi kesin olarak bilinen *ağırlıklar* üzerindeki yerçekimi kuvveti ile yapılırdı. Günümüzde laboratuvarlarda en çok kullanılan terazi türü olan elektronik terazilerde, dengeleme kuvveti bir elektromıknatıstan elektrik akımı geçirerek oluşturulan bir manyetik kuvvettir. Önce, terazi kefesinde bir cisim yokken başlangıç tartım koşulu sağlanır. Tartılacak cisim kefeye konuldu-



▲ Elektronik bir terazi.

ğunda başlangıç tartım koşulu bozulur. Denge koşulunu yeniden sağlamak için elektromıknatıstan ek bir elektrik akımı geçirilmelidir. Bu ek akımın büyüklüğü tartılacak cismin kütlesi ile orantılı olup terazi üzerinde görülen bir kütle okunmasına dönüştürülür. Yanda elektronik terazi gösterilmektedir.

1-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Hem çift kefeli hem de elektronik terazilerle bir cismin Ay'da ölçülen kütlesi, Dünya'da olduğu gibi aynı değer midir? Açıklayınız.

Zaman

Günlük yaşamda zamanı, bizi ilgilendiren kısmına bağlı olarak, kısa zaman aralıklarıyla ilgilendiğimizde (100 m koşusu gibi) saniye, dakika, saat ve yıl olarak ölçeriz veya uzun zaman dilimi ile ilgilendiğimizde daha büyük aralıklarla (2062' de Halley kuyruklu yıldızının bundan sonraki ziyareti gibi) ölçeriz. SI'de standart zaman birimi *saniye* (s) olmasına karşın, bilimsel çalışmada bütün bu zaman birimlerini kullanırız. 1 saniyelik bir zaman aralığı kolaylıkla saptanamaz. Bu birim bir zamanlar bir günün uzunluğuna bağlıydı, ancak Dünyanın dönme hızındaki küçük değişimlerden dolayı bu sabit değildir. Daha sonra 1956 yılında, saniye 1900 yılının 1/31556925,9747'si olarak tanımlandı. Atomik saatlerin keşfi ile birlikte daha kesin tanımların yapılması mümkün olabildi. Şimdi, saniye sezyum (sezyum 133) elementinin belirli atomlarının yaydığı özel ışımanın 9192631770 devir süresi olarak tanımlanmaktadır.

▶ Elektromanyetik ışıma Kesim 8-1 de anlatılmıştır.

Sıcaklık

Bir sıcaklık eşeli oluşturmak için keyfi olarak belirli sabit noktalar kümesi seçilir ve bunun üzerinde sıcaklık artışı derece olarak isimlendirilir. Yaygın olarak kullanılan iki sabit nokta, standart atmosfer basıncında* buzun erime sıcaklığı ve suyun kaynama sıcaklığıdır.

Celsius eşelinde buzun erime noktası 0 °C, kaynama noktası ise 100 °C'dir. Bunların arası Celcius dereceleri diye bilinen 100 eşit aralığa bölünür. **Fahrenheit** sıcaklık eşelinde, buzun erime noktası 32 °F, suyun kaynama noktası 212 °F'dır ve bunların arası Fahrenheit dereceleri diye bilinen 180 eşit aralığa bölünür. Şekil 1-8'de Fahrenheit ve Celsius sıcaklık eşelleri karşılaştırılmaktadır.

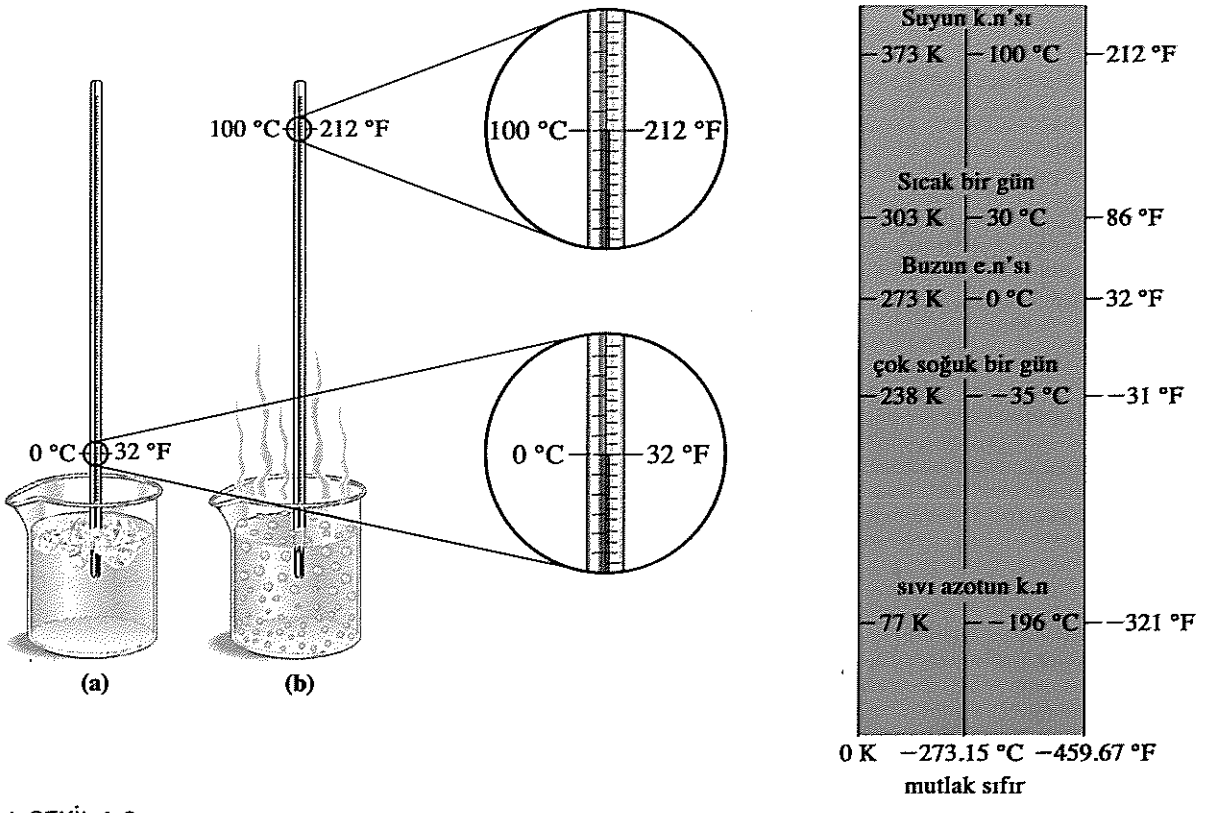
SI sıcaklık eşeli **Kelvin** eşelidir ve buna göre mümkün olabilen en düşük sıcaklık sıfır olarak belirlenir. Kelvin eşelindeki sıfır, 0 K diye gösterilir ve –273,15 °C'ye karşılık gelir. Kelvin sıcaklık eşelini Bölüm 6 da daha ayrıntılı olarak inceleyeceğiz. Şu an için aşağıdakileri bilmek yeterlidir:

- *Kelvin* olarak bilinen Kelvin eşeli aralıkları, Celsius eşelindeki aralıklarla aynı büyüklüktedir.
- Kelvin sıcaklığı yazıldığında derece simgesi kullanmayız. Şöyle ki, 0 K veya 300 K yazarız. 0 °K veya 300 °K yazılmaz.
- Kelvin eşeli mutlak sıcaklık eşelidir. Negatif Kelvin sıcaklıkları yoktur.

▶ Kelvin sıcaklığının SI simgesi T'dir. Celsius sıcaklığının SI simgesi t'dir. Ancak burada t(°C) olarak gösterilmiştir. Fahrenheit sıcaklığının SI simgesi burada t(°F) olarak gösterilmiştir. Ancak bu SI tarafından tanınmamıştır.

Laboratuvarlarda sıcaklık, çoğunlukla Celsius derece cinsinden ölçülür ancak çoğu zaman bu sıcaklıkların Kelvin eşeline dönüştürülmesi gerekebilir (Örneğin, gazların davranışlarının belirlemnesinde). Bazen, özellikle bazı mühendislik uygulamalarında, sıcaklıkların Celcius ve Fahrenheit eşelleri arasında dönüştürülmesi gerekir. Sıcaklık dönüşümleri basitçe aşağıda gösterilen cebirsel eşitliklerin çözülmesiyle yapılabilir.

*Standart atmosfer basıncı Kesim 6-1'de tanımlanmaktadır. Basıncın erime ve kaynama noktası üzerindeki etkisi Bölüm 12'de açıklanmaktadır.



▲ ŞEKİL 1-8
Sıcaklık eşellerinin karşılaştırılması
(a) Buzun erime noktası (e.n) **(b)** Suyun kaynama noktası (k.n)

Celsius'tan Kelvin'e $T(\text{K}) = t(°\text{C}) + 273{,}15$

Celsius'tan Fahrenheit'a $t(°\text{F}) = \frac{9}{5}t(°\text{C}) + 32$

Fahrenheit'den Celsius'a $t(°\text{C}) = \frac{5}{9}[t(°\text{F}) - 32]$

$\frac{9}{5}$ ve $\frac{5}{9}$ faktörleri, Celsius eşelinin seçilen iki referans nokta arasında (suyun donması ve kaynaması) 100 derece kullanılması, Fahrenheit eşelinde ise 180 derece kullanılmasından kaynaklanmaktadır: $180/100 = \frac{9}{5}$ ve $100/180 = \frac{5}{9}$. Şekil 1-8'deki diyagram, bazı sıcaklıklar için üç eşel arasındaki bağıntıyı göstermektedir.

ÖRNEK 1-1 Fahrenheit ve Celsius Sıcaklıkları Arasında Dönüştürme

Yeni Delhi'de belli bir günde beklenen en yüksek sıcaklık 41 °C'dir. Bu sıcaklık aynı gün haber spikerinin belirttiği, Phoenix'de(Arizona) beklenen en yüksek sıcaklık olan 103 °F'den daha mı yüksek yoksa daha mı düşüktür?

Analiz

Bize Celsius sıcaklığı verilmiş ve bunu Fahrenheit sıcaklığı ile karşılaştıracağız. Verilen Celsius sıcaklığını Fahrenheit sıcaklığına çevirmek için, t (°C)'nin fonksiyonu olarak t (°F) 'in verildiği daha önceki eşitliği kullanırız.

Çözüm

$$t(°\text{F}) = \frac{9}{5}t(°\text{C}) + 32 = \frac{9}{5}(41) + 32 = 106\ °\text{F}$$

Yeni Delhi için beklenen sıcaklık 106 °F'dır. 103 °F olan Phoenix'den 3 °F daha yüksektir.

(devam ediyor)

Değerlendirme

Sıcaklık değerleri t (°C) > – 40 °C olduğunda, Fahrenheit sıcaklığı Celsius sıcaklığından daha büyüktür. Celsius sıcaklığı –40 °C'den küçük olursa, t (°F) değeri t(°C) 'dan daha negatif yani daha düşük olur (Şekil 1-8). Kavram değerlendirmesi 1–3, sizin t (°C) ve t (°F) arasındaki bağıntı üzerinde daha fazla düşünmenizi istemektedir.

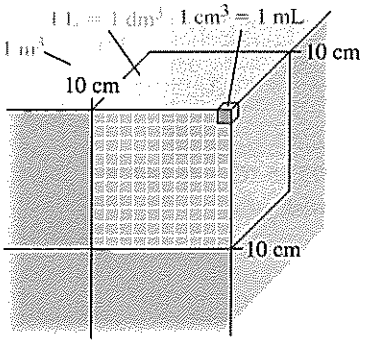
ALIŞTIRMA A: Amerikan yemek kitabı, et rostosu için pişirme sıcaklığı olarak 350 °F verir. Celsius eşelinde bu sıcaklık kaçtır?

ALIŞTIRMA B Özel bir otomobil motoru soğutucusu –22 °C'ye kadar antifriz korumasına sahiptir. Bu soğutucu –15 °F 'e kadar düşük sıcaklıklarda koruma yapabilir mi?

Mastering CHEMISTRY Alıştırmaların yanıtları Mastering Chemistry sitesinde www. masteringchemistry. com adresinde verilmektedir.

1-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

°C ve °F 'in aynı olduğu bir sıcaklık olabilir mi? Bu sıcaklıklar birden fazla olabilir mi? Açıklayınız.



▲ ŞEKİL 1-9
Bazı metrik hacim birimlerinin karşılaştırılması
Şekildeki en büyük küp (yeşil), SI sisteminde bir metre küptür (1 m^3). Kenar uzunluğu 10 cm (1 dm) olan bir küpün (mavi) hacmi 1000 cm^3 (1 dm^3) dür ve 1 litreye (1L) karşılık gelir. En küçük küpün (kırmızı) kenar uzunluğu 1 cm ve hacmi 1 cm^3 = 1 mL'dir.

Türetilmiş Birimler

Çizelge 1.1'de verilen yedi birim, uzunluk, kütle, zaman vb. gibi temel nicelikler için SI birimleridir. Ölçülen birçok özellik, bu temel büyüklüklerin bileşimi ile ya da temel birimle ifade edilebilir. Böyle özelliklerin birimlerine *türetilmiş birimler* adı verilir. Örneğin hız belli bir uzaklığın, bu uzaklığı katetmek için geçen zamana bölümüdür. Hız birimi uzunluk/zaman, yani m/s ya da ms^{-1} dir. Bazı türetilmiş birimlerin özel adları vardır. Örneğin $kgm^{-1}.s^{-2}$ birleşimi *paskal* (Bölüm 6), $kgm^2.s^{-2}$ birleşimi *joule* (Bölüm 7) olarak bilinir. Diğer örnekler Ek-C de verilmektedir.

Türetilmiş birimlerle ifade edilen diğer bir önemli ölçüm ise *hacimdir.* Hacim (uzunluk)^3 birimine sahiptir ve hacmin SI hacim birimi *metre küptür* (m^3). Daha yaygın kullanılan hacim birimleri *santimetre küp* (cm^3) ve litredir (L). Bir litre 1000 cm^3 lük bir hacmi gösterir ve buradan da *bir mililitrenin* (1 mL) 1 cm^3 e eşit olduğu anlaşılır. Litre aynı zamanda bir *desimetre küptür* (1 dm^3). Şekil 1-9'da birkaç hacim birimi verilmiştir.

▶ İngilizce'de *liter* denir, ancak biz *litre* diye söyleyeceğiz.

SI Sistemine Uymayan Birimler

Bazı ülkelerin vatandaşları uzaklığı kilometre, hacmi litre cinsinden kullanarak büyüyor olsalar da, ABD'nin de içinde olduğu birkaç ülkede, günlük hayatta kullanılan birçok birim hala SI olmayan birimlerdir. Örneğin, kütleler pound, oda boyutları feet vb. gibi birimler cinsinden verilmektedir. Bu kitapta SI olmayan birimleri sürekli kullanmayacağız, fakat bazı örneklerde ve bölüm sonu alıştırmalarında ara sıra kullanacağız. Bu durumlarda SI ve SI olmayan birimlerin çevirimi için gerekli olan bağıntı verilecek ya da bu bilgiler kitabın arka kapağının iç kısmından bulunabilecektir.

1-1 MERAK EDİYORSANIZ...

Bir sayıya birim eklenmesi neden çok önemlidir?

NASA Mars'ı araştırmak üzere 1993'de Mars Araştırma Programı adına bir dizi inceleme başlattı. 1995'de programa alınan iki uydu 1998'in sonunda ve 1999'un başında fırlatılacaktı. Bunlar Mars İklim Uydusu (MarsClimateOrbitter-MCO) ve Mars Kutup Sondası'dır (MarsPolarLander-MPL). MCO 11 Aralık 1998'de, MPL 3 Ocak 1999'da gönderildi.

Fırlatıldıktan dokuz buçuk ay sonra MCO ana motoru ateşlenerek Mars'ın etrafındaki eliptik bir yörüngeye oturacaktı. MCO motor hareketi 23 Eylül 1999'da gerçekleşti, fakat Mars atmosferine beklenenden daha düşük bir yörüngede girdiği için MCO uydusu kayboldu. MCO'nın düşük yörüngeye girme nedeni, MCO bilgisayarı SI birimlerini kullanılırken Dünya'daki bilgisayarın İngiliz mühendislik birimlerini kullanmasıydı.

Birimlerdeki bu hata MCO'yu Mars yüzeyinden istenilen 250 km'lik mesafeye değil, 56 km'lik mesafeye kadar getirdi. Bu hata olmasaydı, MCO uydusu 250 km'de başarılı bir şekilde istenilen eliptik yörüngeye girecek ve 168 milyon dolarlık uydu belki de kaybolmayacaktı.

◀ Bilimin ilerlemesi *nicel ölçümlerin* daha dikkatli yapılması ile sağlanır. Kuramlar, üzerindeki uzlaşmaya göre ya kabul edilir ya da reddedilir, veya dört ve daha fazla anlamlı sayılarla yapılan deneylerle doğrulanır. Problem çözümünde birimlere dikkat edilmesi ve anlamlı sayıların kullanılması (Kesim 1-7) bilimin tüm alanlarında önemlidir.

1-5 Yoğunluk ve Yüzde Bileşim: Soru Çözümünde Kullanılması

Bu kitap boyunca maddenin yapısı ve davranışı hakkında yeni kavramlarla karşılaşacağız. Bu kavramlardan bazılarının iyice anlaşılabilmesi için, bildiğimiz kavramlarla yeni kavramlar arasında ilişki kuran sorular çözmemiz gerekir. Bu kesimde çoğu problem çözümlerinde gerekli olan yoğunluk ve yüzde bileşim gibi iki nicelik üzerinde duracağız.

Yoğunluk

Eski bir bilmece vardır: "Bir ton tuğla mı yoksa bir ton pamuk mu daha ağırdır?" Her ikisi de aynı ağırlıktadır diye yanıt verirseniz, ağırlığın ne anlama geldiğini ve dolaylı olarak madde miktarının bir ölçüsü olan kütleyi tam olarak anladığınızı göstermiş olursunuz. Tuğlanın pamuktan daha ağır olduğunu söyleyen biri ağırlık ve yoğunluk kavramlarını karıştırıyor demektir. Tuğladaki madde pamuktan daha yoğundur, yani, tuğladaki madde daha küçük hacim içerisindedir. Tuğla pamuktan daha yoğundur. **Yoğunluk** kütlenin hacme oranıdır.

$$\text{yoğunluk } (d) = \frac{\text{kütle } (m)}{\text{hacim } (V)} \tag{1.2}$$

Hem kütle hem de hacim kapasite özellikleridir. Yani, **kapasite özelliği** gözlenen madde miktarına *bağlıdır.* Bununla birlikte, eğer bir maddenin kütlesini hacmine bölersek bir *şiddet özelliği* olan yoğunluk elde edilir. **Şiddet özelliği** gözlenen madde miktarından *bağımsızdır* (örneğin, yoğunluk gibi). Buna göre saf su, ister yüzme havuzunda (büyük kütle/büyük hacim), isterse beherde (küçük kütle/küçük hacim) bulunsun, 25 °C'deki yoğunluğu belli ve tek bir değerdedir. Bir maddenin tanınmasında şiddet özelliği sıkça kullanıldığı için, kimyasal çalışmalarda özellikle faydalıdır.

SI temel birimleri kütle için kilogram, hacim için metre küptür. Ancak, kimyacılar genellikle kütleyi gram, hacmi de santimetre küp veya mililitre cinsinden ifade ederler. Buna göre, en çok karşılaşılan yoğunluk birimi, gram/santimetreküp (g/cm^3) veya bunun eşdeğeri olan, gram/mililitre (g/mL) dir.

4 °C de 1,000 L suyun kütlesi 1,000 kg dır. 4 °C suyun yoğunluğu 1000 g/1000 mL ya da 1,000 g/mL dir. 20 °C de suyun yoğunluğu 0,9982 g/mL'dir. Kütle sabit kalırken, hacim sıcaklıkla değiştiği için, yoğunluk sıcaklığın bir fonksiyonudur. Küresel ısınmanın bir tehlike olmasının nedeni, deniz suyunun ortalama sıcaklığının artmasıyla yoğunluğunun azalmasıdır. Deniz suyu sıcaklığı arttığında kütle sabit kalırken hacim artacak ve bunun sonucunda, hiçbir karasal *buz kütlesi erimeden,* deniz seviyesi yükselecektir.

Sıcaklığın yanı sıra maddenin fiziksel hali de yoğunluğunu etkiler. Genel olarak, katılar sıvılardan, hem katılar hem de sıvılar gazlardan daha

yoğundur. Ancak sıvılar ve katılar arasında önemli yoğunluk örtüşmeleri vardır. Yoğunluklar için genel olarak gözlenen aralıklar aşağıda verilmiştir. Bu bilgiler problem çözümlerinde yararlı olabilir.

- Katı yoğunlukları: 0,2 g/cm^3 den 20 g/cm^3 e kadar değişir.
- Sıvı yoğunlukları: 0,5 g/mL den 3-4 g/mL'ye kadar değişir.
- Gaz yoğunlukları: çoğunlukla litre başına birkaç gram aralığındadır.

UNUTMAYINIZ

Bir şeyin *"ölçek aralığının"* farkında olmak, hatalardan kaçınmamız için önemli bir adımdır. Eğer bir katının yoğunluğu 0,05 g/cm^3 gibi aralık dışında hesaplanırsa veya gaz yoğunluğu 5,0 g/cm^3 gibi aralık dışında bulunursa, çalışma gözden geçirilmeli ve tekrar yapılmalıdır!

Genellikle sıvıların yoğunlukları katılara göre daha kesin olarak bilinir (katıların mikroskobik kusurları olabilir). Element ve bileşiklerin yoğunlukları da, bileşimleri değişebilen maddelere göre (örneğin, odun veya lastikte olduğu gibi), daha kesin olarak bilinir.

Sıvı ve katıların farklı yoğunluklarda olması bazı önemli sonuçlar doğurur. Bir sıvıda çözünmeden yüzen bir katı, bu sıvıdan *daha az yoğunluğa* sahiptir ve yer değiştirdiği sıvının *kütlesi* kendi *kütlesine* eşittir. Bir sıvıda çözünmeden batan bir katı, bu sıvıdan *daha fazla yoğunluğa* sahiptir ve kendi *hacmine* eşit sıvının *hacmi* ile yer değiştirir. Birbirleriyle karışmayan sıvılar, yoğunluğu çok olan dipte, az olan ise üstte olacak şekilde ayrı tabakalara (fazlara) ayrılırlar.

1-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

1,0 kg'lık odun parçası (d = 0,68 g/cm^3) su üzerinde yüzdüğünde, hacminin yaklaşık ne kadar bir bölümü batar?

Birim Dönüştürmede Yoğunluk

UNUTMAYINIZ

Bir birim dönüştürme işleminin sonunda, istenen birimin dışında, tüm birimler birbirini götürmelidir (Bakınız Ek A-5). Ayrıca verilen ve aranan niceliklerin *kapasite özellikleri* olduğu ve dönüştürme faktörünün (veya faktörlerinin) çoğunlukla *şiddet özellikleri* olduğu (burada, yoğunluk) bilinmelidir.

Eğer bir cismin kütlesi ve hacmini ölçerek belirlersek, yoğunluğunu basit bir bölme işlemi ile buluruz. Tersine, bir cismin yoğunluğunu bildiğimizde, bu yoğunluğu cismin kütlesi veya hacmini bulmak için, bir dönüşüm faktörü olarak kullanabiliriz. Örneğin, kenar uzunluğu 1,000 cm olan bir osmiyum küpünün ağırlığı 22,59 g'dır. Osmiyumun yoğunluğu (elementlerin en yoğunu) 22,59 g/cm^3 dür. Kenar uzunluğu 1,25 inç. olan osmiyum küpünün kütlesi nedir (1 inç. = 2,54 cm). Bu soruyu çözmek için işe, bir küpün hacmi ile uzunluğu arasında bağıntı kurarak başlarız. Yani, $V = l^3$ alırız. Daha sonra birim *dönüştürme yolumuzu* planlayabiliriz:

$$\text{inç. osmiyum} \longrightarrow \text{cm osmiyum} \longrightarrow \text{cm}^3 \text{ osmiyum} \longrightarrow \text{g osmiyum}$$

(inç. birimi cm'ye çevirir) (cm'yi cm^3'e çevirir) (cm^3'ü g osmiyuma çevirir)

$$?\ \text{g osmiyum} = \left[1{,}25\ \text{inç.} \times \frac{2{,}54\ \text{cm}}{1\ \text{inç.}}\right]^3 \times \frac{22{,}59\ \text{g osmiyum}}{1\ \text{cm}^3} = 723\ \text{g osmiyum}$$

25 °C'de tek sıvı metal olan cıvanın yoğunluğu 13,5 g/mL'dir. 25 °C'de 1,000 kg cıvanın mL olarak hacmini öğrenmek istediğimizi varsayalım. (1) Bilinen bilgilerle başlayalım: 1,000 kg cıva ve 25 °C de d = 13,5 g/mL; (2) Cıvanın hacmini mL cinsinden bulmaya çalıştığımıza dikkat edelim ve (3) ilgili birim dönüştürme faktörlerini arayalım. Dönüştürme yolunu tasarlamak, dönüştürme faktörlerini bulmamıza yardımcı olacaktır.

$$\text{kg cıva} \longrightarrow \text{g cıva} \longrightarrow \text{mL cıva}$$

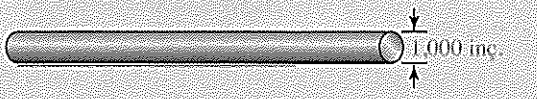
Kilogramı grama çevirmek için 1000 g/kg faktörü gereklidir. Yoğunluk, kütleden hacme dönüşümü sağlayan faktördür. Ancak bu örnekte, yoğunluğu *ters* şekliyle kullanmamız gerekir. Yani,

$$?\ \text{mL cıva} = 1{,}000\ \text{kg} \times \frac{1000\ \text{g}}{1\ \text{kg}} \times \frac{1\ \text{mL cıva}}{13{,}5\ \text{g}} = 74{,}1\ \text{mL cıva}$$

Örnek 1-2 ve 1-3'de gösterildiği gibi, yoğunluğu içeren sayısal hesaplamalar genellikle iki çeşittir: kütle ve hacim ölçümlerinden yoğunluğun bulunması, kütle ve hacim arasındaki ilişkiyi sağlamak için yoğunluğun dönüşüm faktörü olarak kullanılması.

ÖRNEK 1-2 Kütle, Hacim ve Yoğunluk İlişkisi

Aşağıda resmi görülen silindir şeklindeki paslanmaz çelik çubuğun yoğunluğu 7,75 g/cm^3 tür. Eğer biz bu çubuktan 1,00 kg istiyorsak, ne kadar uzunlukta bir parça kesmemiz gerekir? Silindirin hacminin hesaplanabileceği formül arka kapağın iç kısmında verilmiştir.



Analiz

Bize, yoğunluk (d) ve istenen kütle (m) verilmiştir. $d = m/V$ olduğundan, V değerini bu eşitlikten çözeriz ve bunu silindirin hacmini veren $V = \pi r^2 h$ formülünde yerine koyarak, aradığımız çubuk uzunluğu olan h değerini buluruz. Problemde iki farklı kütle birimi (g ve kg) ve iki farklı uzunluk birimi (santimetre ve inç) vardır. Bu yüzden en az iki birimin önceden dönüşümünü yapmalıyız. Hatalardan kaçınmak için tüm basamaklarda birim kullanmalıyız.

Çözüm

V için (1.2) eşitliği çözülür. Yoğunluğun tersi olan $1/d$ kütleyi hacme dönüştüren çevirme faktörüdür.

$$V = \frac{m}{d} = m \times \frac{1}{d}$$

1.00 kg kütleli çubuğun hacmi hesaplanır. Bu basamakta kg'ın g'a dönüştürülmesi gereklidir.

$$V = 1{,}00\ \text{kg} \times \frac{1000\ \text{g}}{1\ \text{kg}} \times \frac{1\ \text{cm}^3}{7{,}75\ \text{g}} = 129\ \text{cm}^3$$

$V = \pi r^2 h$ eşitliği çözülür ve h hesaplanır. Çubuğun yarıçapı kullanılmalıdır (çapın yarısı) ve yarıçap santimetre olarak ifade edilmelidir.

$$h = \frac{V}{\pi r^2} = \frac{129\ \text{cm}^3}{3{,}1416 \times (0{,}500\ \text{inç.} \times 2{,}54\ \text{cm}/1\ \text{inç.})^2} = 25{,}5\ \text{cm}$$

Değerlendirme

Kontrol etmenin bir yolu problemi tersten çözerek yanıtı doğrulamaktır. Örneğin, yoğunluğu hesapladığımızda: $d = 1{,}00 \times 10^3\ \text{g}/[3{,}1416 \times (1{,}27\ \text{cm})^2 \times 25{,}5\ \text{cm}] = 7{,}74\ \text{g/cm}^3$ olarak bulunur ve bu sonuç verilen yoğunluk değerine oldukça yakındır. Bu durumda yanıtımızın, $h = 25{,}5$ cm olduğundan emin olabiliriz.

ALIŞTIRMA A: Elektronik parçaların yağ çözücüsü olarak kullanılan trikloretilen'in yoğunluğunu tayin etmek için bir cam balon önce boş olarak tartılır (108,6 g). Sonra 125 mL trikloretilenle doldurulur ve yeniden tartılır (291,4 g). Trikloretilen'in g/mL olarak yoğunluğu nedir?

ALIŞTIRMA B: Örnek 1-2 deki silindir çubuk yerine 1,000 kg kütleli katı küresel bakır top ($d = 8{,}96$ g/cm^3) kullansaydık bu topun yarıçapı ne olurdu?

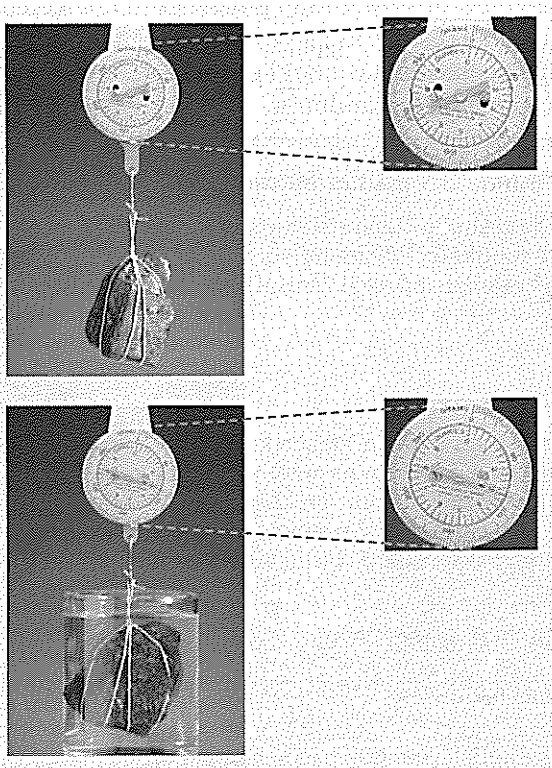
ÖRNEK 1-3 Şekli düzensiz olan katıların yoğunluğunun hesaplanması

Bir kömür yığını yaylı bir teraziye asılarak iki kez tartılmaktadır (bakınız şekil 1-10). Kömür havada teraziye asılı olarak tartıldığında 156 g, 20°C'deki suya daldırılıp su içerisinde tartıldığında 59 g gelmektedir. Kömürün yoğunluğu nedir? Suyun 20°C deki yoğunluğu 0,9983 g cm^{-3} ür.

Analiz

Kömür parçasının kütle/ hacim oranına ihtiyacımız vardır. Kömürün kütlesi kolayca bulunur ve bu kütle havada tartıldığında elde edilen 156 g'dır. Ancak bu kömür parçasının hacmi nedir? Bu hesaplamanın anahtarı, su altında yapılan ağırlık ölçümüdür. Su kömüre karşı kaldırma kuvveti gösterdiğinden, suya batırıldığında kömürün ağırlığı 156 g'dan daha az olur. Kaldırma kuvveti ise iki ağırlık ölçümü

(devam ediyor)



ŞEKİL 1-10
Düzensiz bir katının hacminin ölçülmesi
Şekli düzensiz bir katı, sıvı içerisine daldırıldığında, kendi hacmine eşit sıvı hacmi ile yer değiştirir. Gerekli veriler burada gösterildiği şekilde iki kez kütle ölçümüyle elde edilebilir. Gerekli hesaplamalar Örnek 1-3 'deki gibi yapılır.

arasındaki farktır: 156 – 59= 97 g'dır. Sayfa 14 'deki durumu hatırlarsak, suya daldırılan katı kendi hacmine eşit su hacmi ile yer değiştirir. Bu su hacmini doğrudan bilemeyiz; ancak kömür ile yer değiştiren suyun kütlesini (97 g) ve bu suyun yoğunluğunu (0,9982 g/cm^3) kullanarak yer değiştiren suyun hacmini hesaplayabiliriz. Zaten kömürün hacmi de yer değiştiren suyun hacmine eşittir.

Çözüm

Kömür parçasının kütlesi 156 g'dır. Yer değiştiren su kütlesini m_{su} ile gösterirsek, aşağıda gösterildiği gibi yer değiştiren suyun hacmini hesaplayabiliriz.

$$V = \frac{m_{su}}{d} = \frac{156\ \text{g} - 59\ \text{g}}{0{,}9982\ \text{g/cm}^3} = 97\ \text{cm}^3$$

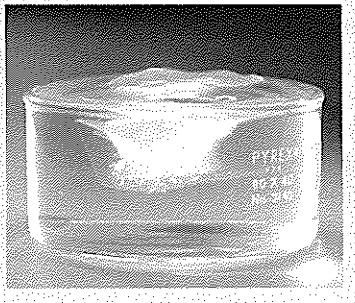
Kömür parçasının hacmi yer değiştiren suyun hacmiyle aynıdır. Bu yüzden kömürün yoğunluğu;

$$d = \frac{156\ \text{g}}{97\ \text{cm}^3} = 1{,}6\ \text{g/cm}^3$$

Değerlendirme

Bir cismin yoğunluğunu tayin etmek için, cismin hem kütlesinin hem de hacminin ölçülmesinin gerektiğini düşünebiliriz. Oysa Örnek 1-3 hacim ölçümünün gerekli olmadığını göstermektedir. Yukarıda verilen hesaplamalardaki basamaklar aşağıdaki eşitliği vermek üzere bir araya getirilebilir.

(cismin yoğunluğu)/ (suyun yoğunluğu) = (sudaki ağırlığı) / (havadaki ağırlık – sudaki ağırlık)



Yukarıdaki eşitlik, biri havada diğeri bilinen yoğunluktaki sıvıda (su gibi) olmak üzere, iki ağırlık ölçümü yapılarak cismin yoğunluğunun bulunabileceğini açıkça göstermektedir.

ALIŞTIRMA A: Dereceli bir silindir kap 33,8 mL su içermektedir. Kütlesi 28,4 g olan bir taş parçası silindirik kaba konduğunda su seviyesi 44,1 mL yükselmektedir. Taşın yoğunluğu nedir?

ALIŞTIRMA B: Fotoğrafta gösterildiği gibi bir buz parçası tamamen eridiğinde, su kaptan taşar mı, su seviyesi düşer mi yoksa su seviyesi değişmeden mi kalır? Açıklayınız.

Dönüşüm Faktörü Olarak Yüzde Bileşim

Bir maddenin belirleyici bir özelliği olan bileşimini, Kesim 1-2 de tanımlamıştık. Bileşim genel olarak yüzde ile ifade edilir. Yüzde, 100 kısımlık bir bütün içinde bir bileşenin kısım sayısıdır. Örneğin bir deniz suyu numunesinin kütlece % 3,5 sodyum klorür içerdiğini söylemek, deniz suyunun her yüz gramında 3,5 g sodyum klorür var demektir. *Kütlece* yüzdeden bahsettiğimiz için, gram cinsinden ifade ederiz. Deniz suyundaki bu yüzdeyi aşağıdaki oranları yazılarak ifade edebiliriz:

$$\frac{3{,}5 \text{ g sodyum klorür}}{100 \text{ g deniz suyu}} \quad \text{ve} \quad \frac{100 \text{ g deniz suyu}}{3{,}5 \text{ g sodyum klorür}} \qquad (1{,}3)$$

Örnek 1-4'de bu oranlardan birini çevirme faktörü olarak kullanacağız.

ÖRNEK 1-4 Yüzdenin Çevirme Faktörü Olarak Kullanılması

Kütlece %3,5 sodyum klorür içeren bir miktar deniz suyu kuruluğa kadar buharlaştırılarak 75 g sodyum klorür (sofra tuzu) elde edilmek isteniyor. Bu amaçla kaç litre deniz suyu alınmalıdır? Deniz suyunun yoğunluğunu 1,03 g/mL olarak kabul ediniz.

Analiz

Birim dönüştürme yolu şöyledir: " g sodyum klorür → g deniz suyu → mL deniz suyu → L deniz suyudur. g sodyum klorürden g deniz suyuna dönüşüm için g deniz suyunun paydada, g sodyum klorürün de payda olduğu (1.3) eşitliğindeki çevirme faktörü gereklidir. g deniz suyunu mL deniz suyuna çevirmek için, dönüşüm faktörü olarak deniz suyu yoğunluğunun tersini kullanırız. Son olarak mL deniz suyunu L deniz suyuna dönüştürmek için, 1 L = 1000 mL eşitliğini kullanmamız gerekir.

Çözüm

Yukarıda tanımlanmış olan birim dönüşüm yolu aşağıda görülmektedir.

$$? \text{ L deniz suyu} = 75 \text{ g sodyum klorür} \times \frac{100 \text{ g deniz suyu}}{3{,}5 \text{ g sodyum klorür}} \times \frac{1 \text{ mL deniz suyu}}{1{,}03 \text{ g deniz suyu}} \times \frac{1 \text{ L deniz suyu}}{1000 \text{ mL deniz suyu}}$$

$$= 2{,}1 \text{ L deniz suyu}$$

Değerlendirme

Bu problemi çözerken bir çevirim yolu oluşturduk; sonra gerekli olan çevirim faktörünü düşündük. Kitap boyunca bu yaklaşımı kullanmaya çalışacağız.

ALIŞTIRMA A: Kütlece % 90 benzin, %10 etanol içeren bir benzin-alkol çözeltisinin 25 L'sinde kaç kilogram etanol vardır? Çözeltinin yoğunluğunu 0,75 g/mL alınız.

ALIŞTIRMA B: Bir çeşit tuvalet ispirtosu, izopropil alkolün sudaki kütlece %70'lik çözeltisidir. 15,0 g izopropil alkol içeren 25,0 mL tuvalet ispirtosu örneğinin yoğunluğu nedir?

1-2 MERAK EDİYORSANIZ...

Yüzde problemlerini çözerken ne zaman çarpma, ne zaman bölme yapacağız?

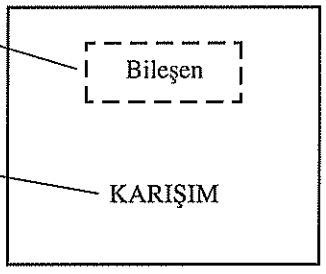
Yüzde problemlerini çözerken yapılması gereken yaygın bir işlem, yüzde olarak verilen sayıyı ondalık şekle dönüştürmektir (% 3,5 sayısı, 0,035 şeklinde yazılır). Sonra çarpma ve bölme işlemi bu ondalık sayı ile yapılır. Ancak bazen öğrenciler buna karar vermekte güçlük çekerler. Yüzde

(devam ediyor)

miktarını dönüşüm faktörü olarak ifade etmek ve bunu gerekli olan birim götürme işlemlerinde kullanmak, bu güçlüğü ortadan kaldırır. Ayrıca aşağıdakileri unutmayınız:

Bir *bileşenin* **miktarı, karışımının toplam miktarından daima daha az olmak zorundadır. (Yüzde ile *çarpın*.)**

Bir *karışımın* **tamamının miktarı, bileşenlerinin her birinin miktarından daima daha büyük olmak zorundadır. (Yüzde'ye *bölün*.)**



UNUTMAYINIZ

Mantığa meydan okuyan bir sayısal cevap elbetteki yanlıştır.

Eğer Örnek 1-4'de birimlerin götürülmesine dikkat etmemiş olsaydık ve (100/3,5) değerine bölmek yerine (3,5/100) ile çarpsaydık, $2,5 \times 10^{-3}$ sayısal değerini elde edecektir. Bu yaklaşık 2,5 g ağırlığında 2,5 mL'lik deniz suyu örneği olacaktı. Halbuki 75 g sodyum klorür *içermesi* gereken deniz suyu numunesinin kütlesi 75 g'dan ebette *daha büyük* olmalıdır.

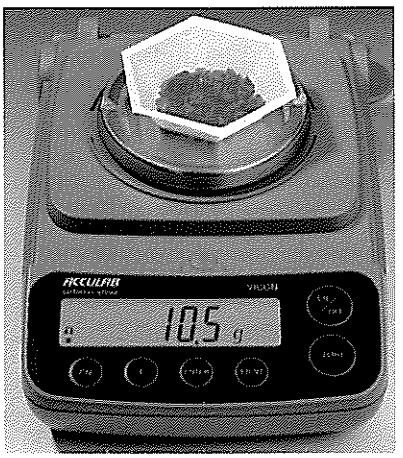
1-6 Bilimsel Ölçümlerde Belirsizlik

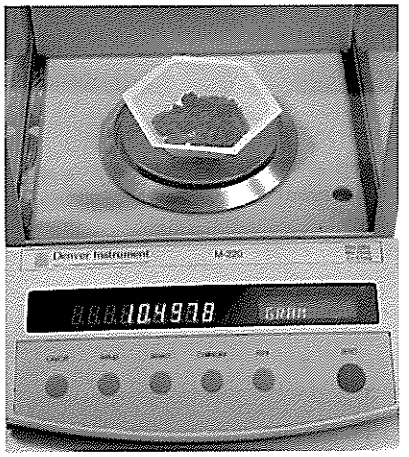
Tüm ölçümlerde hata olabilir. Bir dereceye kadar, ölçme aletlerinin yapımından ya da doğasından ileri gelen hatalara **sistematik hatalar** denir. (Örneğin, bir mutfak tartısı sürekli 25 g fazla tartabilir, ya da bir termometre 2 °C daha düşük gösterebilir.) Deneyi yapan kişinin bilimsel bir aleti okumaktaki beceri ve yeteneğindeki sınırlar da hatalara ve verilen sonuçlarının çok yüksek ya da çok düşük bulunmasına neden olabilir. Bu hatalar **rastgele hatalar** adını alırlar.

▶ *Rastgele hatalar* veri dağılımından ileri gelir ve çok sayıda ölçümün ortalaması alınarak azaltılabilir. *Sistematik hatalar*, tam aksine, deney yapan bilim adamlarının felaketidir. Kolayca fark edilmezler ve yöntemin bilinen bir numuneye veya sonuca karşı dikkatlice kalibre edilmesiyle, bu tür hatalardan kaçınılabilir. Sistematik hata bir ölçümün *doğruluğuna* etki ederken, rastgele hata ölçümlerin *tekrarlanabilirliğine* etki eder.

Kesinlik ölçülen miktarın tekrarlanabilirlik derecesini gösterir. Yani, miktar birkaç kez ölçüldüğünde sonuçlar arasındaki yakınlığı belirtir. Eğer her bir ölçüm serisi, ortalamadan az bir miktar saparsa, bu ölçüm serilerinin kesinliği yüksektir (ya da iyidir). Aksine, ölçümler arasında büyük sapma varsa kesinlik zayıftır (ya da düşüktür). **Doğruluk** ölçüm değerinin kabul edilen ya da gerçek değere ne kadar yakın olduğunu gösterir. Kesinliği yüksek olan ölçümler her zaman doğru değildir; büyük bir sistematik hata olabilir. (Eğer amaç hedef tahtasının merkezine isabet ettirmekse, üç adet dart çubuğunun dart tahtasının kenarında kümelenmesi kesin, ama doğru değildir). Bilim adamları halen kesinliği yüksek ölçümler için çaba göstermektedirler.

Bu düşünceleri şekillendirmek için bir cismin kütlesini Sayfa 19'da gösterilen iki teraziyi kullanarak ölçtüğümüzü düşünelim. Bu teraziler tek kefeli terazilerdir ve soldaki terazi kütleyi gram olarak sadece bir ondalıklı verirken, diğer terazi bir analitik terazi olup, kütleyi gram cinsinden dört ondalıkla verir. Her bir terazide cismin 3 kez tartılan kütlesi ekli çizelgede verilmiştir. Virgülden sonra tek haneli terazi için ölçümler 10,4–10,6 aralığında, ortalama olarak 10,5 g dır. Analitik teraziler için ölçümler 10,4977–10,4979 g aralığında, ortalama olarak 10,4978 g dır. Tek haneli teraziden elde edilen verilerdeki dağılım ± 0,1 g'dır. Bu da analitik terazilerle elde edilenlerden (± 0,0001 g) daha büyüktür. Böylece tek haneli terazi kullanılarak elde edilen sonuçlar, analitik terazi kullanılarak elde edilenlerden daha düşük (veya zayıf) kesinliğe sahip olur.





	Basit Terazi	Analitik Terazi
Üç ölçüm	10,5, 10,4, 10,6 g	10,4978, 10,4979, 10,4977 g
Bunların ortalaması	10,5 g	10,4978 g
Tekrarlanabilirlik	± 0,1g	± 0,0001g
Kesinlik	düşük veya zayıf	yüksek veya iyi

1-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir deney ölçümünden elde ettiğiniz veriler doğru olmamasına karşın, kesinliği iyi olabilir mi? Bir deney ölçümünden elde ettiğiniz verilerin ortalaması doğru, ancak her bir verinin tekrarlanabilirliği kötü olabilir mi?

1-7 Anlamlı Rakamlar

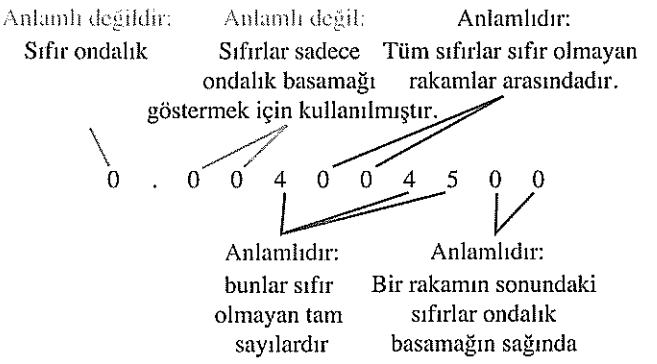
Düşük kesinliği olan terazi ile şu ölçümlerin yapıldığını düşünelim: 10,4, 10,2 ve 10,3. Bu sonuçları en iyi ifade eden değer, ortalama sonuç olan 10,3'tür.

Bir bilim adamına göre, örneğin, 10,3 sayısının ilk iki rakamı—10— kesinlikle bilinir (belirli sayı), son rakam —3—ise hesaplandığı için kesin değildir (belirsiz sayı). Yani, kütle 0,1 g farkla bilinebilir ve bunu 10,3 ± 0,1 g şeklinde yazarak da ifade edebiliriz. Bir bilim adamı için ölçülen 10,3 g *üç* **anlamlı rakama** sahiptir. Bu kütle, gram yerine kilogram olarak ifade edildiğinde 10,3 g = 0,0103 kg olur ve bu sayı üçten fazla rakam içermesine karşın ölçüm hala *üç* anlamlı rakama sahiptir. Analitik terazi ile ölçüm yapılsaydı belirtilen değer 10,3107 g yani altı anlamlı rakamla ifade edilebilirdi. Ölçülen nicelikteki anlamlı rakam sayısı, ölçüm aletinin duyarlılığının ve ölçümlerin kesinliğinin bir göstergesidir.

Çoğu zaman sayısal bir nicelikteki anlamlı sayıları bulmamız gerekir. Bunu yapabilmek için Şekil 1-11'de şeması verilen kurallar aşağıdadır.

- Sıfır dışındaki tüm rakamlar anlamlıdır.
- Sıfır da anlamlıdır; fakat birden küçük sayılar için iki önemli *istinası* vardır. (1) Virgülden (ondalık basamaktan) önce gelen sıfır ve (2) virgülden sonra ilk rakama kadar olan sıfırlar anlamlı değildir.
- Nicelikler 1'den büyük olduğunda ondalık virgülünden önce gelen sıfırların olması durumunda *belirsizlik* vardır.

7500 m niceliği bu belirsizlik durumuna bir örnektir.



▶ ŞEKİL 1-11
Verilen bir nicelikteki anlamlı rakamların bulunması
Burada gösterilen 0,004004500 sayısı yedi anlamlı rakama sahip bir niceliktir. Sıfır dışındaki rakamların hepsi ve işaretlenmiş olan sıfırlar anlamlıdır.

7500 m demek istenirken ölçülen en yakın metre nedir? En yakın 10 metre mi? Eğer tüm sıfırlar anlamlı ise ve *dört* anlamlı rakam varsa 7500 m yazabiliriz. Yani başka zaman gerekli olmayan bir ondalık basamak yazarak, ondalık basamaktan önce gelen tüm sıfırların anlamlı olduğunu gösterebiliriz. Eğer sıfırdan yalnızca biri anlamlı ise ya da ikisi birden anlamsızsa, bu yöntem yarar sağlamaz. Burada en iyisi üstel ifade kullanmaktır. (Gerektiğinde Ek A'yı inceleyin). Katsayı anlamlı rakamların sayısını, 10 un kuvveti ise ondalık basamağın yerini gösterir.

2 anlamlı rakamlar	3 anlamlı rakamlar	4 anlamlı rakamlar
$7{,}5 \times 10^3$ m	$7{,}50 \times 10^3$ m	$7{,}500 \times 10^3$ m

Sayısal Hesaplamalarda Anlamlı Rakamlar

Ölçülmüş nicelikler için yapılan hesaplamalarda kesinlik ne kazanılır, ne de kaybolur. Bir hesaplama sonucunun ne kadar kesinlikle saptanabileceğini gösteren birkaç doğru yöntem vardır. Fakat anlamlı rakamları içeren bazı basit kuralları gözden geçirmek yaralı olur.

▶ "Çarpma/bölme" işleminden hesaplanan sonuçlar, bu işlemlerde yer alan rakamlardan en az kesinlikle verilen rakam kadar kesinlikte verilmelidir. Genellikle, anlamlı sayılar kuralı bu gereksinimle uyumludur, ancak nadirende uyumlu değildir (bakınız Alıştırma 67).

> Çarpma ve bölmenin sonucu ancak hesaplamada kesinliği *en az* bilinen niceliğinki kadar anlamlı rakam içerebilir.

Aşağıdaki çarpma zincirinde, dikdörtgen şeklindeki bir odun kütüğünün hacmini bulmak için sonucu *üç* anlamlı rakama yuvarlamalıyız. Şekil 1-12 bunu anlamanıza yardım eder.

14,79 cm	×	12,11 cm	×	5,05 cm	=	904 cm^3
(4 an. rak.)		(4 an. rak.)		(3 an. rak.)		(3 an. rak.)

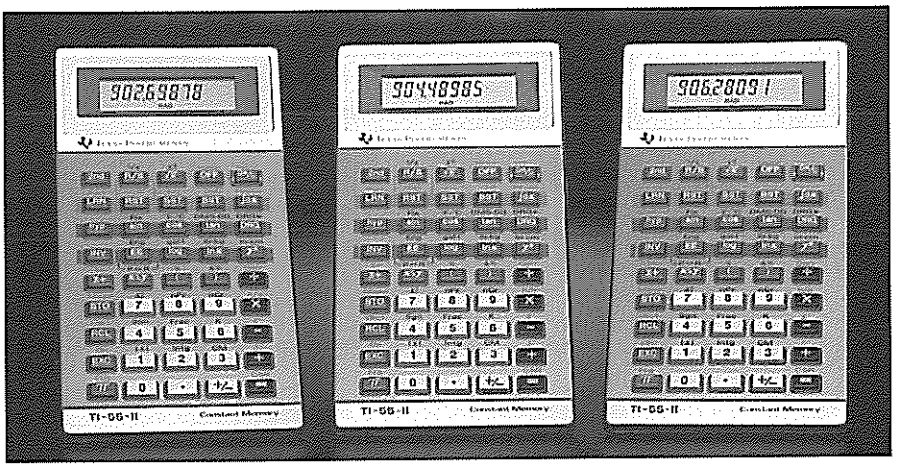
Sayıların toplama ve çıkarılmasında aşağıdaki kural uygulanır:

▶ Toplama ve çıkarmada sonuçtaki *mutlak hata* en az kesinlikte olduğu bilinen niceliğin mutlak hatasından daha az olamaz. Sağ tarafta görülen toplamada mutlak hata bir nicelik için ±0,1 g, bir diğeri için ± 0,01 g ve üçüncü için ± 0,001 g 'dır. İşlemin toplamı ± 0,1 g mutlak hata ile verilmelidir.

> Toplama ve çıkarma sonucu, ondalık basamak sayısı *en az* olan nicelikteki ile aynı sayıda ondalık basamakla ifade edilmelidir.

Aşağıdaki kütlelerin toplamını ele alalım:

$$\begin{array}{r} 15{,}02 \text{ g} \\ 9986{,}0 \text{ g} \\ 3{,}518 \text{ g} \\ \hline 10\,004{,}538 \text{ g} \end{array}$$



▲ ŞEKİL 1-12
Çarpmada anlamlı rakam kuralı
14,79 cm × 12,11 cm × 5,05 cm işleminde kesinliği en az olan sayı 5,05 cm'dir. Hesap makinelerinde 14,79 ve 12,11'in sırasıyla 5,04, 5,05 ve 5,06 ile çarpımları gösterilmiştir. Üç sonuçta da yalnızca ilk iki rakam 90... aynıdır, üçüncü rakamda değişiklikler başlar. Rakamları üçüncünün ötesine götürmekte haklı bir hedefimiz olamaz. Hacmi 904 cm^3 olarak ifade ederiz. Buradaki gibi ayrıntılı bir analiz yerine genellikle daha basit bir kavram kullanırız: Bir çarpmanın sonucu ancak en az kesinlikle bilinen niceliğin içerdiği kadar anlamlı rakam içerebilir.

Toplamın; ± 0,1 olan belirsizliği *en az* sayıda ondalık basamağa sahip 9986,0 sayısınınki ile aynıdır. Bu hesaplamanın anlamlı rakamlarla sınırlı olmadığına dikkat ediniz. Dikkat ederseniz, toplamın anlamlı rakam sayısı (altı) toplamadaki terimlerin her birinden daha fazladır.

Bir hesaplamadaki değerin *tam* olduğu, yani ölçüm hatalarına tabi olmadığı iki durum söz konusudur:

- tanım ile yapılan kabul (örneğin 1 dakika = 60 s veya 1 inç. = 2,54 cm gibi).
- sayma sonucu elde edilen değer (yani bir küpün *altı* yüzü veya bir su molekülünde *iki* hidrojen atomu gibi).

Tam sayıların sonsuz sayıda anlamlı rakam içerdiği düşünülebilir.

◀ Kitabın daha ileri bölümlerinde anlamlı rakamlara ilişkin kavramları logaritmalara da uygulamamız gerekecektir. Bu konu Ek A'da verilmiştir.

1-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

1 inç uzunluk için aşağıda verilen ölçümlerin hangisi daha duyarlıdır (kesindir)? 1inç = 2,54 cm veya 1 m = 39,37 inç? Açıklayınız.

◀ Anlamlı rakamlar konusunda pratik yapmak için Kesim 1-6'daki hesaplamaları inceleyiniz. Burada verdiğimiz anlamlı rakam kurallarına uyduğunu göreceksiniz.

Sayısal Sonuçların Yuvarlanması

15,453 sayısını üç anlamlı rakamla 15,5 olarak ve 14,775 sayısını üç anlamlı rakamla 1,48 × 10^4 olarak ifade etmemiz gerekir. Eğer sayıyı yuvarlamak için yalnız bir basamak atmamız gerekiyorsa, atılacak rakam 5, 6, 7, 8 ya da 9 olduğunda izlenecek en basit kural son rakamı bir birim arttırmaktır. Atılacak rakam 0, 1, 2, 3 ya da 4* ise son basamak değiştirilmez. Üç anlamlı rakam için 15,44 sayısı 15,4'e ve 15,45 sayısı 15,5'e yuvarlanır.

◀ Bazı insanlar "5 sayısının *çift sayıya yuvarlanması*" tercih ederler. Buna göre 15,55 sayısı 15,6 ya ve 17,65 sayısı 17,6'ya yuvarlanır. Bankalarda ve büyük verilerin toplandığı yerlerde yuvarlamalar böyle bir tercihe dayanmamalıdır. Küçük sayılı verilerde ise bu daha az önemlidir.

* C.J. Guare, *J. Chem. Educ.*, 68, 818 (1991).

ÖRNEK 1-5 Anlamlı Rakam Kurallarının Uygulanması: Çarpma/Bölme

Aşağıdaki hesaplamanın sonucunu, doğru sayıda anlamlı rakamlarla veriniz

$$\frac{0{,}225 \times 0{,}0035}{2{,}16 \times 10^{-2}} = ?$$

Analiz

Üç niceliği de incelersek, en az kesinlikle bilinenin, iki anlamlı rakamı olan 0,0035 olduğunu görürüz. Sonucumuz yalnızca iki anlamlı rakam içermelidir.

Çözüm

Yukarıdaki hesaplamayı elektronik hesap makinesi kullanarak yaptığımızda sonuç 0,0364583 olarak bulunur. Bu problemin analizinde sonucu iki anlamlı sayı olacak şekilde yuvarlayacağız ve sonuç uygun şekilde 0,036 veya $3{,}6 \times 10^{-2}$ olarak ifade edilecektir.

Değerlendirme

Olası hesap hatalarının kontrolü için doğru cevabı üssel sayıları kullanarak hızlıca aklımızdan hesaplayabiliriz. Cevap $(2 \times 10^{-1})\,(4 \times 10^{-3}) / (2 \times 10^{-2}) \approx 4 \times 10^{-2}$ olmalıdır. Sayıların üssel olarak ifadesi, yanıtın ne olması gerektiğini hızlıca tahmin etmemize yardımcı olur.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki hesabı yapınız ve sonucu uygun sayıda anlamlı rakamla ifade ediniz

$$\frac{62{,}356}{0{,}000456 \times 6{,}422 \times 10^{3}} = ?$$

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki hesabı yapınız ve sonucu uygun sayıda anlamlı rakamla ifade ediniz.

$$\frac{8{,}21 \times 10^{4} \times 1{,}3 \times 10^{-3}}{0{,}00236 \times 4{,}071 \times 10^{-2}} = ?$$

ÖRNEK 1-6 Anlamlı Rakam Kurallarının Uygulanması: Toplama/Çıkarma

Aşağıdaki hesaplamanın sonucunu doğru anlamlı rakamlarla ifade ediniz.

$$(2{,}06 \times 10^{2}) + (1{,}32 \times 10^{4}) - (1{,}26 \times 10^{3}) = ?$$

Analiz

Eğer bu hesaplama bir elektronik hesap makinesi ile yapılırsa, nicelikler yazıldıkları gibi makineye girilir ve sonucu kendimiz doğru sayıda anlamlı rakamlarla ifade ederiz. Doğru sayıda anlamlı rakam ile ifade etmek için, en büyük nicelik belirlenir ve sonra diğer nicelikler onunla aynı üssel kuvvetle yazılır. Elde edeceğimiz sonuç, ondalık virgülünden sonra en küçük basamaklı niceliğin basamağından daha fazla basamak içermemelidir.

Çözüm

En büyük nicelik $1{,}32 \times 10^{4}$ dür. Diğerlerini $0{,}0206 \times 10^{4}$ ve $0{,}126 \times 10^{4}$ olarak yazarız. Hesaplama sonucu iki ondalığa yuvarlanır.

$$\begin{aligned}(2{,}06 \times 10^{2}) + (1{,}32 \times 10^{4}) - (1{,}26 \times 10^{3}) &= (0{,}0206 \times 10^{4}) + (1{,}32 \times 10^{4}) - (0{,}126 \times 10^{4}) \\ &= (0{,}0206 + 1{,}32 - 0{,}126) \times 10^{4} \\ &= 1{,}2146 \times 10^{4} \\ &= 1{,}21 \times 10^{4}\end{aligned}$$

Değerlendirme

20. sayfa kenarındaki bilgiye dönersek, problem için bir başka yaklaşım yolunun daha olduğunu görebiliriz. Bilinen en az kesinlikli nicelikteki mutlak hatanın beirlenmesi için üç nicelik $(2{,}06 \pm 0{,}01) \times 10^2$, $(1{,}32 \pm 0{,}01) \times 10^4$ ve $(1{,}26 \pm 0{,}01) \times 10^3$ olarak yazılır. $1{,}32 \times 10^4$ en büyük mutlak hataya $(\pm 0{,}01 \times 10^4)$ sahiptir ve buna göre yukarıdaki hesabın sonucunda mutlak hata $\pm 0{,}01 \times 10^4$ dür. Bu nedenle $1{,}2146 \times 10^4$ sayısı $1{,}21 \times 10^4$ olarak yuvarlanır.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki hesaplamanın sonucunu uygun anlamlı rakamlarla ifade ediniz.

$$0{,}236 + 128{,}55 - 102{,}1 = ?$$

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki hesaplamayı yapınız ve sonucu uygun sayıda anlamlı rakamlarla ifade ediniz.

$$\frac{(1{,}302 \times 10^3) + 952{,}7}{(1{,}57 \times 10^2) - 12{,}22} = ?$$

Önceki örnekleri çözerken elektronik hesap makinesi kullandınız. Ara sonuçları yazmadığımız için elektronik hesap makinesi kullanmak güzeldi. Genelde ara yuvarlamaların ihmal edilmesi mazur görülür ve tüm ara sonuçlar, anlamlı rakamlar göz önünde tutulmaksızın, hesap makinesinde saklanır. Daha sonra anlamlı rakamlar son cevapta yuvarlanır.

UNUTMAYINIZ

Toplama/çıkarma ayrı bir anlamlı rakam kuralı ile, çarpma/bölme daha farklı bir anlamlı rakam kuralı ile yapılır.

MasteringCHEMISTRY **www.masteringchemistry.com**

1960 'lı yılların sonlarında bilim adamları poli-su olarak bilinen suyun yeni bir şeklinin bulunmasını hararetle tartışıyorlardı. Poli-su tartışması ve bilim topluluklarının bir uzlaşmaya varmalarında bilimsel yöntemlerin önemini anlamak için bakınız: Focus On feature for Chapter 1 (The Scientific Method at Work: Polywater), on MasteringChemistry site.

Özet

1-1 Bilimsel Yöntem—**Bilimsel yöntemler** doğa olaylarını ve beklenen olası başka olayları açıklanmak için geliştirilmiş olan işlemler kümesidir. Bir bilimsel yöntemin dört temel basamağı vardır: (1) Deney ve gözlemlerle elde edilen verilerin toplanması. (2) Verilerin **doğal yasa** olarak bilinen basit matematiksel veya sözlü ifadelere indirdegenmesi. (3) Toplanan verilerden mantıklı bir açıklamayla **hipotez** önerilmesi. (4) Önerilen hipotezin daha fazla deney ve öngörülerle denenmesi, sonuçta diğer ilişkili hipotezlerle beraber kavramsal bir model olarak bilinen **kurama** gidilmesi.

1-2 Maddenin Özellikleri—**Madde** boşlukta yer tutan, kütlesi olan ve eylemsizlik özelliği gösteren her şeye verilen isimdir. **Bileşim** bir madde örneğinin bileşenlerini ve bunların bağıl oranlarını belirtir. **Özellik** bir madde örneğini diğerinden ayıran niteliklerdir. Madde özellikleri iki geniş kategoride toplanabilir: **Fiziksel** ve **kimyasal.** Madde iki türlü değişikliğe uğrayabilir. Birincisi **kimyasal değişim** yani tepkimelerle madde bileşimindeki değişikliktir. Diğeri ise **fiziksel değişim** yani maddenin fiziksel halinin ya da fiziksel yapısının değişmesiyle olan ve madde bileşimini etkilemeyen değişikliklerdir.

1-3 Maddenin Sınıflandırılması—Maddenin temel yapı birimi **atomlardır.** Madde **element** olarak bilinen aynı tür atomların bir araya gelmesinden oluşmuştur. İki veya daha fazla elementin birleşmesiyle oluşan madde örneği **bileşik** olarak bilinir. **Molekül,** bileşiği oluşturan atomları, bileşikteki ile aynı oranda içeren en küçük birimdir. Element ve bileşikler toplu olarak **saf madde** denilen madde türünü oluştururlar. Madde karışımları **homojen** ve **heterojen** olarak sınıflandırılabilirler (Şekil 1-4). Maddelerin üç hali **katı, sıvı** ve **gazdır.**

1-4 Madde Ölçümü: SI (metrik) Birimleri—Kimya nicel bir bilimdir. Bu, kimyasal ölçümlerin genellikle sayılarla ve bunlara eşlik eden birimlerle ifade edildiği anlamına gelir. Ölçmedeki bilim-

sel sistem "Uluslar arası birim sistemi–*Systeme Internationale d' Unite*–kısaltması **SI**" olarak bilinir ve yedi temel niceliği içerir (Çizelge 1.1). **Kütle** madde miktarını tanımlar. Ağırlık ise cisim üzerindeki yerçekimi kuvvetinin ölçüsüdür. Ağırlık kütle ile ilgilidir fakat kütleden farklıdır. Kimyacılar tarafından kullanılan sıcaklık ölçeği **Celsius** ve **Kelvin** ölçeğidir. **Fahrenheit** sıcaklık ölçeği, genel olarak Amerika Birleşik Devletlerinde günlük hayatta ve bazı endüstriyel kuruluşlarda kullanılır. Bu üç sıcaklık ölçeği basit matematiksel işlemlerle birbirine dönüştürülebilir (Şekil 1-8).

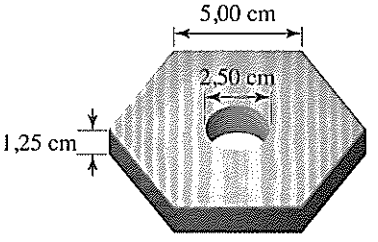
1-5 Yoğunluk ve Yüzde Bileşim: Problem çözümlerinde kullanımları—Kütle ve hacim **kapasite özelliklerdir;** numunedeki madde miktarına *bağlıdırlar.* **Yoğunluk** ise verilen bir maddenin kütlesinin hacmine oranıdır ve **şiddet özelliğidir.** Bu özellik numunedeki madde miktarına *bağlı değildir.* Yoğunluk çeşitli hesaplamalarda dönüşüm faktörü olarak kullanılır.

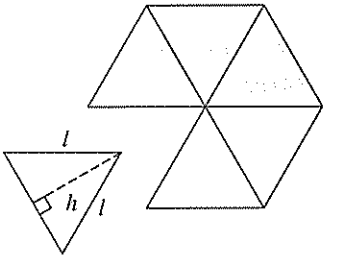
1-6 Bilimsel Ölçümlerde Belirsizlikler—Ölçümlerde **sistematik** ve **rastgele hatalar** vardır. Bir seri ölçüm yapıldığında, ölçümler birbirine yakın ise ölçümlerin **kesinliğinden** (tekrarlanabilirliğinden) eğer ölçümler gerçek değere yakınsa bu kez ölçümün **doğruluğundan** bahsedebiliriz.

1-7 Anlamlı rakamlar—Uygun **anlamlı rakam** kullanımı önemlidir. Çünkü anlamlı rakamlar kuralının doğru uygulanması, hesaplamalardan gelen ve gerçek deneylerdeki kesinliği garanti etmeyen, yüksek kesinlik derecesinin gereksizce önerilmesini önler. Elde edilen cevabın kesinliği, hesaplamada kullanılan rakamların kesinliğinden büyük olmamalıdır. Ayrıca hesaplanan bir niceliğin sonuçlarının doğru anlamlı sayılarla verilmesi için, sayısal sonuçların yuvarlanma kurallarının iyi bilinmesi önemlidir.

Pekiştirici Örnek

58,35 g altı köşeli tahta bloğun bir kenarı 5,00 cm ve kalınlığı 1,25 cm'dir. Bu tahta bloğun merkezinde 2,50 cm iç çaplı matkapla delinmiş bir delik bulunmaktadır. Sıvı heksanın yoğunluğu d= 0,667 g/mL, sıvı dekanın yoğunluğu d = 0,845 g/mL'dir. Bu iki sıvının karışımı yoğunluğunun, çözeltinin hacimce yüzde bileşiminin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu düşünelim. Altı köşeli tahta bloğun çözeltide zar zor yüzebilmesi için, çözeltide olması gereken heksanın hacimce yüzdesini bulunuz.





Analiz

İlk iş $d = m/V$ formülünden tahta bloğun yoğunluğunu tayin etmektir. Kütle verilmiştir; bu yüzden önce hesaplanacak olan hacimdir. Tahta bloğun hacim hesabının esası, ortadaki silindirik delik yokken ve silindirik delik varkenki hacimler arasındaki *farka* dayanmaktadır. İkinci iş çözelti yoğunluğunu, sıvı çözeltinin hacimce yüzde bileşimine bağlayan basit bir eşitlik yazmaktır. Daha sonra, bu eşitliği heksanın hacimce yüzdesini bulmak için çözmektir. Bulacağımız hacimce yüzde, hesaplanan tahta bloğun yoğunluğuna eşit bir çözelti yoğunluğu sağlayacak olan yüzdedir.

Çözüm

Altı köşeli tahta blok, her birinin uzunluğu l ve yüksekliği h olan altı tane eşkenar üçgen halinde küçük bloklara bölünebilir. Üçgenin alanı yandaki formülde verilmektedir

$$A = \frac{1}{2}(\text{taban} \times \text{yükseklik}) = \frac{1}{2} \times l \times h$$

Soruda sadece taban l = 5,00 cm olarak verilmiştir. Resimde gösterilen dik üçgende, yüksekliği (h) tabana (l) göre ifade etmek için Pisagor kuramı kullanılır. Yani, $a^2+b^2 = c^2$ eşitliğini tekrar düzenlersek $a^2= c^2–b^2$ elde edilir.

$$h^2 = l^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2 = l^2 - \frac{l^2}{4} = \frac{3l^2}{4} \text{ ve}$$

$$h = \frac{\sqrt{3}}{2} \times l$$

Şimdi, altı üçgenden birinin alanı şu formülle bulunur.

$$A = \frac{1}{2} \times l \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times l = \frac{\sqrt{3}}{4} \times l^2$$

Hacmi bulmak için, l = 5,00 cm yukarıdaki formülde yerine konulur ve kesit alanı ile kalınlık (1,25 cm) çarpılır

$$V = \frac{\sqrt{3}}{4} \times (5{,}00\ \text{cm})^2 \times 1{,}25\ \text{cm} = 13{,}5\ \text{cm}^3$$

Ortadaki silindirik delik olmadan altı köşeli ağaç bloğun hacmi, altı üçgen bloğun hacmine eşittir.

$$V = 6 \times 13{,}5\ \text{cm}^3 = 81{,}0\ \text{cm}^3$$

1,25 cm yarıçaplı (2,50 cm çapın yarısı) silindirik deliğin hacmi yükseklik 1,25 cm olduğunda

$$V = \pi r^2 h = 3{,}1416 \times (1{,}25\ \text{cm})^2 \times 1{,}25\ \text{cm} = 6{,}14\ \text{cm}^3$$

Tahta bloğun hacmi ise bu iki hacim arasındaki farktır.

$$V = 81{,}0\ \text{cm}^3 - 6{,}14\ \text{cm}^3 = 74{,}9\ \text{cm}^3$$

Tahta bloğun yoğunluğu

$$d = \frac{m}{V} = \frac{58{,}35\ \text{g}}{74{,}9\ \text{cm}^3} = 0{,}779\ \text{g/cm}^3 \text{ ya da } 0{,}779/\text{g mL}$$

Doğrusal ilişkiyi veren genel formül $y = mx + b$ dır.

$$y = mx + b$$

Burada y çözeltinin g/mL cinsinden yoğunluğu (d), x ise heksanın hacimce kesridir (hacim yüzdesi/100). Eşitlikte saf dekanın yoğunluğunu yerine koyar ve $x = 0$ olduğuna dikkat edersek, b = 0,845 buluruz.

$$d = 0{,}845 = (m \times 0) + b$$

Şimdi saf heksan yoğunluğunu, d = 0,667, ve x =1,00 ile b = 0,845 değerlerini kullanarak m değerini bulabiliriz.

$$d = 0{,}667 = (m \times 1{,}00) + 0{,}845$$
$$m = 0{,}667 - 0{,}845 = -0{,}178$$

Son basamakta, tahta blok ile aynı yoğunluğa (0,779 g/mL) sahip çözelti için x değeri bulunur.

$$d = 0{,}779 = -0{,}178x + 0{,}845$$
$$x = \frac{0{,}845 - 0{,}779}{0{,}178} = 0{,}37$$

Heksanın hacmice kesri 0,37'dir ve çözeltinin hacimce yüzde bileşimi, %37 heksan ve %63 dekan'dır.

Değerlendirme

Bu hesaplamada yapacağımız öncelikli işlem, yaptığımız işin doğruluğunu kontrol etmektir. Tahta bloğun yoğunluğu için iki şey bekleyebiliriz: (1) 1 g/ cm^3 den daha küçük olmalıdır (pratik olarak tahtanın tümü suda yüzüyor) ve (2) bu değer 0,667 g/cm^3 ile 0,845 g/cm^3 arasında olmalıdır. Eğer tahtanın hesaplanmış olan yoğunluğu bu aralığın dışında ise tahta blok iki sıvı karışımı üzerinde ya yüzer ya da dibe batar ve geriye kalan hesabı yapmak imkânsız olur.

Bu hesaplamadaki dikkat çekici diğer nokta ise son basamaktaki hesaba kadar üç anlamlı rakamın kullanılmasıdır. Son basamakta benzer büyüklükteki iki sayı arasındaki fark alındığından, anlamlı rakamların sayısı üçten ikiye düşmüştür.

ALIŞTIRMA A: Magnaliyum alaşımı, aluminyum ve magnezyum metallerinin katı bir karışımıdır. Şekli düzensiz bir magnaliyum külçesi örneği, yaylı terazi (bakınız Şekil 1-10) kullanılarak havada ve bitkisel yağ içerinde olmak üzere iki defa tartılır. Havadaki ağırlık 211,5 g ve yağdaki ağırlık 135,3 g'dır. Saf aluminyum, saf magnezyum ve bitkisel yağın yoğunluğu sırasıyla 2,70 g/cm^3, 1,74 g/cm^3 ve 0,926 g/cm^3 ise magnaliyum külçesindeki magnezyumun kütlece yüzdesi nedir? İki metal karışımı yoğunluğunun, kütlece yüzde bileşimin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu varsayınız.

ALIŞTIRMA B: Bir deniz suyu örneğinin yoğunluğu 10 °C de 1,027 g/cm^3 tür ve kütlece % 2,67 sodyum klorür içerir. Verilen sodyum klorür'ün kütlece %39,34 ü sodyumdur. Tek bir sodyum atomunun kütlesi $3{,}817 \times 10^{-26}$ kg dır. 1,5 L deniz suyu örneğinden elde edilebilecek olan en fazla sodyum atomu sayısını ve sodyum kütlesini hesaplayınız.

MasteringCHEMISTRY

Bu konudaki ek deneme sorularını www. masteringchemistry.com internet adresinden bulabilirsiniz.

Alıştırmalar

(Ek A-1 ve A-5 eklerine de bakınız)

Bilimsel Yöntem

1. Bir kuramın çelişkili bir kuram üzerine uyarlanabilmesinin başlıca sebepleri nelerdir?
2. Bir doğal yasanın doğruluğunu saptamak için kaç tane deneyin gerekli olduğunu önceden belirlemek mümkün müdür? Açıklayınız.
3. Bilim adamları arasındaki yaygın bir inanç tabiatta temel bir düzen olduğudur. Einstein bu inancı kelimelerle şöyle tanımlamıştır. " Tanrı zekidir, ancak kötü niyetli değildir". Einstein'ın bu sözüyle ne demek istediğini açıklayınız.
4. Bilimsel kanunları yasama kanunlarından ayıran birkaç neden söyleyiniz.
5. Bir kuramı denemek için uygun bir deneyin gerekli özelliklerini tanımlayınız.
6. Bilimsel bir kuramın gerekli özelliklerini tanımlayınız.

Maddenin Özellikleri ve Sınıflandırılması

7. Aşağıdaki madde özellikleri fiziksel mi, yoksa kimyasal mıdır?
   (a) Demir çivi mıknatısa doğru çekilir
   (b) Bir kâğıt parçası sıcaklık 451 °F'a ulaştığında kendiliğinden tutuşur.
   (c) Bronz heykel zamanla yeşil renk alır.
   (d) Odun parçası suda yüzer.
8. Aşağıdaki özellikleri fiziksel ya da kimyasal diye niteleyiniz.
   (a) Dilimlenmiş elma kahverengiye döner.
   (b) Kalın bir mermere dokunmak soğukluk hissi verir.
   (c) Safir mavidir.
   (d) Kil çömlek fırında pişerse sertleşir ve sırlanır.
9. Aşağıda verilen madde örneklerinin saf madde mi, yoksa bir karışım mı olduğunu belirtiniz; eğer bir karışım ise homojen ya da heterojen mi olduğunu söyleyiniz.
   (a) temiz taze hava
   (b) gümüş kaplı kaşık
   (c) sarımsak tuzu
   (d) buz
10. Gösterilen madde örneklerinin saf madde mi, yoksa bir karışım mı olduğunu belirtiniz; eğer bir karışım ise homojen ya da heterojen mi olduğunu söyleyiniz.
    (a) bir odun demeti
    (b) kırmızı mürekkep
    (c) damıtık su
    (d) yeni sıkılmış taze portakal suyu
11. Aşağıdaki karışımları ayırmak için fiziksel değişimler öneriniz
    (a) Demir rendeleri ve odun talaşları
    (b) buzlu cam ve sakkaroz (şeker kamışı)
    (c) su ve zeytinyağı
    (d) altın talaşı ve su
12. Aşağıdaki ayırmaları yapabilmek için ne tür bir fiziksel ya da kimyasal işlem gerekir? (*İpucu* = elementlerin listesine bakınız.)
    (a) kum/şeker karışımından, şekerin ayrılması
    (b) demir oksitten (pas), demirin ayrılması
    (c) deniz suyundan, saf su ayrılması
    (d) çamurlu-kumlu sudan, suyun ayrılması

Üstel aritmetik

13. Her bir sayıyı üstel olarak ifade ile yazınız **(a)** 8950.; **(b)** 10,700.; **(c)** 0,0240; **(d)** 0,0047; **(e)** 938,3; **(f)** 275,482.
14. Her bir sayıyı ondalık şeklinde ifade ediniz.
    (a) $3{,}21 \times 10^{-2}$; **(b)** $5{,}08 \times 10^{-4}$; **(c)** $121{,}9 \times 10^{-5}$; **(d)** $16{,}2 \times 10^{-2}$,
15. Aşağıdaki değerleri üstel şekilde ifade ediniz, gerektiğinde birimlerini de yazınız.
    (a) Ses hızı (deniz seviyesinde): 34 000 santimetre/saniye
    (b) Dünyanın ekvator yarıçapı: 6378 kilometre
    (c) Hidrojen molekülünde iki hidrojen atomu arasındaki uzaklık: metrenin 74 trilyonda biri
    (d) $\dfrac{(2{,}2 \times 10^{3}) + (4{,}7 \times 10^{2})}{5{,}8 \times 10^{-3}} =$
16. Aşağıdaki değerleri üstel şekilde ifade ediniz, gerektiğinde birimlerini de yazınız.
    (a) Dünyaya ulaşan güneş ışını: 173 bin trilyon watt.
    (b) Ortalama insan hücre çapı: bir metrenin 10 milyonda biri.
    (c) Gümüş metalindeki atomların merkezleri arasındaki uzaklık: bir metrenin 142 trilyonda biri.
    (d) $\dfrac{(5{,}07 \times 10^{4}) \times (1{,}8 \times 10^{-3})^{2}}{0{,}065 + (3{,}3 \times 10^{-2})} =$

Anlamlı Sayılar

17. Aşağıda verilenlerin bir tam sayı mı, yoksa belirsizlik taşıyan ölçülmüş bir nicelik mi olduğunu belirtiniz.
    (a) Bir top kâğıttaki kâğıt sayısı
    (b) Bir litre şişedeki süt hacmi
    (c) Yeryüzü ve güneş arasındaki uzaklık
    (d) Oksijen molekülündeki iki oksijen atomunun merkezleri arasındaki uzaklık
18. Aşağıda verilenlerin bir tam sayı mı, yoksa belirsizlik taşıyan ölçülmüş bir nicelik mi olduğunu belirtiniz.
    (a) Bu kitaptaki sayfa sayısı
    (b) Ocak ayındaki günlerin sayısı
    (c) Bir şehrin alanı
    (d) Altın madalyadaki atomların merkezleri arasındaki uzaklık
19. Aşağıda verilenleri *dört* anlamlı rakamla ifade ediniz. (a) 3984,6; (b) 422,04; (c) 186,000; (d) 33,900; (e) $6{,}321 \times 10^4$; (f) $5{,}0472 \times 10^{-4}$,
20. Aşağıdakilerin her birinde kaç anlamlı rakam gösterilmiştir? Eğer belirsiz ise, neden belirsiz olduğunu açıklayınız
    (a) 450; (b) 98,6; (c) 0,0033; (d) 902,10; (e) 0,02173; (f) 7000; (g) 7,02; (h) 67,000,000
21. Aşağıdaki hesaplamaları yapınız; her bir cevabı üstel şekilde ve uygun sayıda anlamlı rakamlarla ifade ediniz.
    (a) $0{,}406 \times 0{,}0023 =$
    (b) $0{,}1357 \times 16{,}80 \times 0{,}096 =$
    (c) $0{,}458 + 0{,}12 - 0{,}037 =$
    (d) $32{,}18 + 0{,}055 - 1{,}652 =$
22. Aşağıdaki hesaplamaları yapınız; her bir sayıyı ve cevabı üstel şekilde ve uygun sayıda anlamlı rakamlarla ifade ediniz.
    (a) $\dfrac{320 \times 24{,}9}{0{,}080} =$
    (b) $\dfrac{432{,}7 \times 6{,}5 \times 0{,}002300}{62 \times 0{,}103} =$
    (c) $\dfrac{32{,}44 + 4{,}9 - 0{,}304}{82{,}94} =$
    (d) $\dfrac{8{,}002 + 0{,}3040}{13{,}4 - 0{,}066 + 1{,}02} =$
23. Aşağıdaki hesaplamaları yapınız ve her birinin sonucunu uygun sayıda anlamlı rakamla ifade ediniz.
    (a) $(38{,}4 \times 10^{-3}) \times (6{,}36 \times 10^5) =$
    (b) $\dfrac{(1{,}45 \times 10^2) \times (8{,}76 \times 10^{-4})}{(9{,}2 \times 10^{-3})^2} =$
    (c) $24{,}6 + 18{,}35 - 2{,}98 =$
    (d) $(1{,}646 \times 10^3) - (2{,}18 \times 10^2) + [(1{,}36 \times 10^4) \times (5{,}17 \times 10^{-2})] =$
    (e) $$\frac{-7{,}29 \times 10^{-4} + \sqrt{(7{,}29 \times 10^{-4})^2 + 4(1{,}00)(2{,}7 \times 10^{-5})}}{2 \times (1{,}00)}$$
    [*İpucu*: Kök alınmasında anlamlı rakamlar kuralı çarpmadakilerle aynıdır]
24. Aşağıdaki hesaplamaların sonuçlarını üstel şekilde ve uygun sayıda anlamlı rakamla ifade ediniz.
    (a) $(4{,}65 \times 10^4) \times (2{,}95 \times 10^{-2}) \times (6{,}663 \times 10^{-3}) \times 8{,}2 =$
    (b) $\dfrac{1912 \times (0{,}0077 \times 10^4) \times (3{,}12 \times 10^{-3})}{(4{,}18 \times 10^{-4})^3} =$
    (c) $(3{,}46 \times 10^3) \times 0{,}087 \times 15{,}26 \times 1{,}0023 =$
    (d) $\dfrac{(4{,}505 \times 10^{-2})^2 \times 1{,}080 \times 1545{,}9}{0{,}03203 \times 10^3} =$
    (e) $$\frac{(-3{,}61 \times 10^{-4}) + \sqrt{(3{,}61 \times 10^{-4})^2 + 4(1{,}00)(1{,}9 \times 10^{-5})}}{2 \times (1{,}00)}$$
    [*İpucu*: Kök alınmasında anlamlı rakamlar kuralı çarpmadakilerle aynıdır]
25. Amerika'da basılan ve 1986'da ultra-düşük ağırlıklı *Voyager* uçağı ile hiç durmadan gerçekleştirilen dünya turunu anlatan bir yayın aşağıdaki verileri içermektedir:
    Uçuş uzaklığı: 25012 mi
    Uçuş zamanı: 9 gün, 3 dakika, 44 saniye
    Yakıt kapasitesi: yaklaşık 9000 lb
    Uçuş sonrası kalan yakıt: 14 gal.
    İzin verilen maksimum sayıda anlamlı rakamla,
    (a) saatte kilometre olarak uçağın ortalama hızını
    (b) kilogram olarak kilometre başına yakıt tüketimini (yakıt yoğunluğunu 0,70 g/mL olarak kabul ediniz) hesaplayınız.
26. Aşağıdaki bilginin sunuluş şeklini anlamlı sayılar kavramını kullanarak eleştiriniz.
    "1 Ocak 1982'de hesaplanan doğal gaz rezervi 2911346 trilyon feet küptü".

Ölçüm Birimleri

27. Aşağıdaki birim dönüşümlerini yapınız.
    (a) 0,127 L = ____ mL
    (b) 15,8 mL = ____ L
    (c) 981 cm^3 = ____ L
    (d) 2,65 m^3 = ____ cm^3
28. Aşağıdaki birim dönüşümlerini yapınız.
    (a) 1,55 kg = ____ g
    (b) 642 g = ____ kg
    (c) 2896 mm = ____ cm
    (d) 0,086 cm = ____ mm
29. Aşağıdaki SI olmayan birimleri, SI birimlerine çeviriniz (Gerekirse arka iç kapaktaki bilgileri kullanınız).
    (a) 68,4 in, = ____ cm
    (b) 94 ft = ____ m
    (c) 1,42 lb = ____ g
    (d) 248 lb = ____ kg
    (e) 1,85 gal = ____ dm^3
    (f) 3,72 qt = ____ mL
30. Aşağıdaki sayıları bulunuz:
    (a) 1 kilometre karedeki (km^2), metre kare (m^2) sayısını
    (b) 1 metre küpteki (m^3), santimetre küp (cm^3) sayısını
    (c) 1 mil karedeki (mi^2), metre kare sayısını (1 mi= 5280 ft)

31. 3245 μg değeri mi, yoksa 0,00515 mg değeri mi daha büyük kütleyi gösterir? Açıklayınız.
32. 3257 mg değeri mi yoksa 0,000475 kg değerimi daha büyük kütleyi gösterir? Açıklayınız.
33. Binicilikte kullanılan ve SI birimi olmayan bir "el eni"nin uzunluğu 4 inçtir. 15 "el eni" yüksekliğindeki bir atın metre olarak yüksekliği nedir?
34. *Furlong* at yarışlarında kullanılan bir birimdir. "Zincir" ve "zincir halkası" mesafe ölçümünde kullanılır. 1 mi tam olarak 8 furlong yapar, 1 furlong'da 10 zincir vardır ve 1 zincirde 100 halka vardır. 1 halkanın santimetre cinsinden uzunluğu, üç anlamlı rakamla ne kadardır?
35. Bir sürat koşucusu 100 yd'lık kısa mesafeyi 9,3 saniyede koşuyor. Aynı hızda,
    (a) Koşucunun 100,0 m'yi koşması ne kadar sürer?
    (b) Koşucunun saniyede metre cinsinden hızı nedir?
    (c) Koşucunun 1,45 km'yi koşması ne kadar sürer?
36. Eczacılıkta kullanılan SI birimi olmayan kütle birimi *granül* (gr) olup (15 gr = 1,0 g), bir aspirin tableti 5,0 gr aspirin içerir. 155 lb ağırlığında bir romatizma hastası günde iki aspirin tableti alıyor.
    (a) İki tabletteki aspirinin miligram cinsinden miktarı nedir?
    (b) Vücut kütlesinin her kilogramı için miligram cinsinden ifade edilen aspirin dozu nedir?
    (c) Verilen aspirin tabletlerinin tüketim hızına göre, 1,0 kg aspirin kaç günde tüketilir?
37. Arazi alan ölçümünde kullanılan SI birimi *hektardır* (1 hektar = 1 hm^2). Amerika Birleşik Devletlerinde alan ölçümü için genellikle *acre* kullanılır. Kaç acre, 1 hektara karşılık gelir? (1 mi^2 = 640 acre, 1 mi= 5280 ft, 1 ft = 12 inç)
38. Bir mühendislik başvuru kitabında demirin yoğunluğu 0,284 lb/$inç^3$ verilmiştir. Buna göre demirin yoğunluğu g/cm^3 cinsinden nedir?
39. Bir otomobilin kullanım kılavuzunda, otomobil lastikleri için en verimli basıncın 32 lb/$inç^2$ olduğu belirtilmiştir. Bu basınç g/cm^2 ve kg/m^2 biriminde nedir?
40. Bir kırmızı kan hücresinin hacmi yaklaşık 90,0 × 10^{-12} cm^3'dür. Kırmızı kan hücresinin küresel olduğunu varsayarak çapını milimetre cinsinden hesaplayınız?

Sıcaklık Eşelleri

41. Bir termometreyi hem Celsius, hem de Fahrenheit sıcaklıkları için işaretlemek istiyoruz. Celsius eşelinde en düşük sıcaklık işareti −10 °C ve en yüksek sıcaklık işareti 50 °C'dir. Eşdeğer Fahrenheit sıcaklıkları nedir?
42. California San Bernardino'da kaydedilen en yüksek ve en düşük sıcaklıklar sırasıyla 118 °F ve 17 °F'dir. Bu sıcaklıklar Celsius eşelinde nasıl verilir?
43. Mutlak sıfır sıcaklığı −273,15 °C'dir. −465 °F sıcaklığına ulaşmak mümkün müdür? Açıklayınız.
44. Bir ev ekonomisi dersinde şekerleme hazırlamak için şeker karışımının "yumuşak-top" (234–240 °F) kıvamına getirilmesi gerekmektedir. Öğrenci bu ödevi yapabilmek için kimya laboratuarından −10 ile 110 °C aralığında bir termometre almıştır. Bu termometre amaca uygun mudur? Açıklayınız.
45. Yeni bir sıcaklık eşeli (°M) oluşturmak için cıvanın erime noktasını (−38,9 °C) 0 °M ve kaynama noktasını (356,9 °C) 100 °M olarak alıyorsunuz. °M cinsinden, (a) suyun kaynama noktası; (b) mutlak sıfır sıcaklığı ne olacaktır?
46. Amonyağın erime noktasının (−77,75 °C) 0 °A ve kaynama noktasının (−33,35 °C) 100 °A olduğu yeni bir sıcaklık eşeli oluşturmaya karar veriyorsunuz. °A cinsinden, (a) suyun kaynama noktası; (b) mutlak sıfır sıcaklığı ne olacaktır?

Yoğunluk

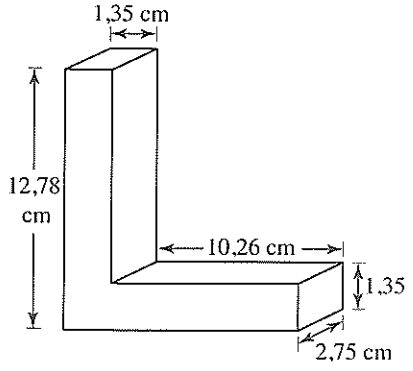
47. Acımış tereyağında bulunan bütirik asidin 2,18 L sinin kütlesi 2088 g'dır. Bütirik asidin g/mL cinsinden yoğunluğu nedir?
48. 20 °C de 15,2 L kloroform örneği 22,54 kg'dır. 20 °C'de g/mL olarak kloroformun yoğunluğu nedir?
49. Asetonun yoğunluğunu bulmak için 55,0 gal'luk bir bidon iki kez tartılmıştır. Bidon boşken 75,0 lb ve aseton ile doldurulduğunda 437,5 lb gelmektedir. Asetonun gram/mililitre cinsinden yoğunluğu nedir?
50. Belirli bir şekli olmayan bir cam kabın hacmini bulmak için, kap boşken tartılmış 121,3 g bulunmuştur. Kabın ağırlığı, karbon tetraklorür ile doldurulduğunda 283,2 g'dır. Karbon tetraklorürün yoğunluğu 1,59 g/mL olduğuna göre, kabın mL cinsinden hacmi nedir?
51. Bir çözelti kütlece % 8,50 aseton ve %91,5 su içermektedir ve yoğunluğu 0,9867 g/mL'dir. Bu çözeltinin 7,50 L'sindeki aseton kütlesi kilogram olarak nedir?
52. Bir çözelti kütlece % 10,05 sakkaroz içermektedir. 1 kg sakkaroz kaç gram çözeltide bulunur?
53. Bir gübre kütlece % 21 azot içeriyor. 225 g azot kaç kilogram gübrede bulunur?
54. Bir sirke numunesinin yoğunluğu 1,006 g/mL'dir ve kütlece %5,4 asetik asit içerir. 1 litre sirkede bulunan asetik asit kaç gramdır?
55. 52,8 cm × 6,74 cm × 3,73 cm boyutlarında bir demir bloğun (d =7,86 g/cm^3) kütlesini hesaplayınız.
56. Yüksekliği 18,35 cm ve yarıçapı 1,88 cm olan silindirik bir paslanmaz çeliğin (d = 7,75 g/cm^3) kütlesini hesaplayınız.

57. Su, demir ve aluminyumun 20 °C'deki yoğunlukları sırasıyla 0,998 g/cm^3, 7,86 g/cm^3 ve 2,70 g/cm^3'dür. Aşağıdaki maddeleri *artan* kütlelerine göre sıralayınız.
(a) 81,5 cm × 2,1 cm × 1,6 cm boyutlarında dikdörtgen demir çubuk
(b) 12,12 m × 3,62 m × 0,003 cm boyutlarında aluminyum levha
(c) 4,051 L su

58. Küçük, küresel bir bakır merminin yaklaşık kütlesini bulmak için aşağıdaki deney yapılmıştır. 125 mermi sayılarak dereceli silindirde bulunan 8,4 mL suya konmuş ve toplam hacim 8,9 mL olarak bulunmuştur. Bakırın yoğunluğu 8,92 g/cm^3'dür. Tüm parçaların aynı boyutlarda olduğunu varsayarak, tek bir merminin yaklaşık kütlesini bulunuz.

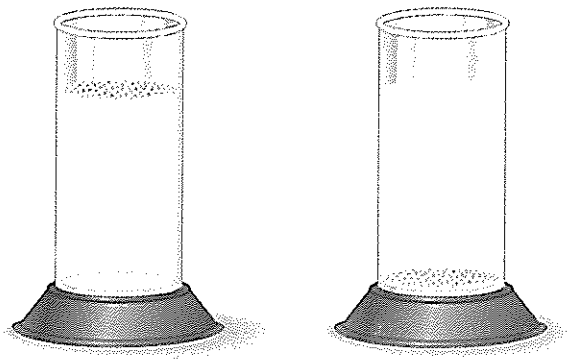
59. Aluminyumun yoğunluğu 2,709 g/cm^3'dür. Kare şeklinde bir aluminyum levha parçasının kenar uzunluğu 22,86 cm, ağırlığı 2,568 g'dır. Bu levhanın milimetre cinsinden kalınlığı nedir?

60. Aşağıda şekli verilen açısal demir, yoğunluğu 7,78 g/cm^3 olan çelikten yapılmıştır. Bu cismin gram cinsinden kütlesi nedir?



61. Normal kanda mililitrede yaklaşık 5,4 × 10^9 civarında kırmızı kan hücresi vardır. Kırmızı kan hücresinin hacmi yaklaşık 90,0×10^{-12} cm^3 ve yoğunluğu yaklaşık 1,096 g/mL'dir. 0,5 kg kırmızı kan hücresi toplamak için kaç litre kan gerekir?

62. Bir zamanlar jeologlar tarafından bir mineralin yoğunluğunu ölçmek için kullanılan teknikte, mineral tanelerinin yüzeceği oranda iki yoğun sıvının karışımı kullanılırdı. İçinde kalsit mineralinin yüzdüğü bir karışımın özel yoğunluk şişesi ile birlikte ağırlığı 15,4448 g'dır. Şişe boşken 12,4631 g, su ile dolu iken 13,5441 g gelmektedir. Kalsit örneğinin yoğunluğu nedir? (Bütün ölçümler 25 °C de yapılmıştır ve suyun 25 °C'deki yoğunluğu 0,9970 g/mL'dir).



▲ Sol tarafta *kalsit* mineralinin tanecikleri, sıvı bromoformun (d = 2,890 g/mL) yüzeyinde yüzmektedir. Sağ tarafta, tanecikler sıvı kloroformun (d = 1,444 g/mL) dibine çökmüştür. Taneciklerin ancak yüzebileceği oranlarda bromoform ve kloroform karışımı hazırlanırsa, kalsitin yoğunluğu bulunabilir (Alıştırma 62).

Yüzde Bileşim

63. 76 kişilik bir sınıfta belli bir sınavın sonuçları 7 tane A, 22 tane B, 37 tane C, 8 tane D, 2 tane F dir. Notların % A, % B, vb olarak yüzde dağılımı nedir?

64. 84 kişilik bir sınıfta final sınavının dağılımı %18 A, %25 B, %32 C, %13 D, %12 F dir. Her bir yüzde kaç öğrenciye karşılıktır?

65. Kütlece %28,0 sakkaroz içeren sulu sakkaroz çözeltisinin yoğunluğu 1,118 g/mL dir. Bu çözeltinin 3,5 L sinde bulunan sakkarozun gram olarak kütlesi nedir?

66. Suda kütlece %12,0 sodyum hidroksit içeren bir çözeltinin yoğunluğu 1,131 g/mL'dir. 2,25 kg sodyum hidroksit gerektiren bir uygulamada kullanılması gereken bu çözeltinin litre cinsinden hacmi nedir?

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

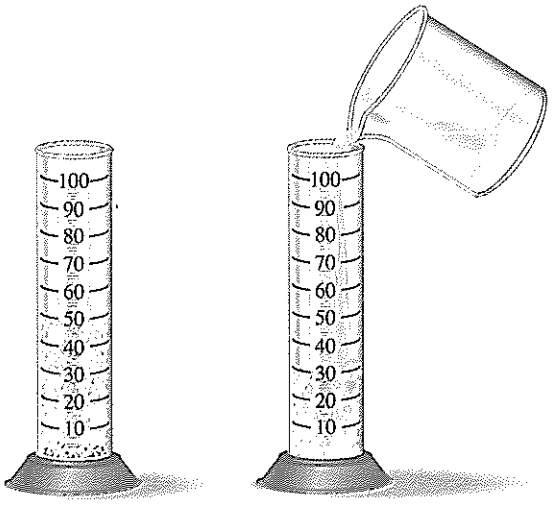
67. Anlamlı rakamlara ilişkin kurallara göre, 99,9 m ile 1,008 m çarpımı üç anlamlı rakamla, 101 m^2 olarak ifade edilmelidir. Ancak, bu durumda sonucu *dört* anlamlı rakamla 100,7 vermek daha doğru olacaktır. Nedenini açıklayınız.

68. Benzen içerisinde kütlece % 6,38 *para*-diklorbenzen içeren çözeltinin yoğunluğunu (15–65 °C aralığında) sıcaklığın (t) fonksiyonu olarak veren denklem aşağıdadır.

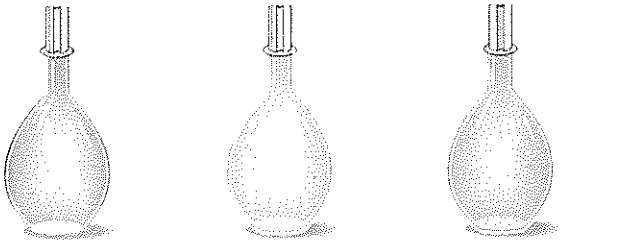
$$d\,(\text{g/mL}) = 1{,}5794 - 1{,}836 \times 10^{-3}\,(t - 15)$$

Çözeltinin hangi sıcaklıkta yoğunluğu 1,543 g/mL olur?

69. Bir evdeki yüzme havuzunu klorlamak için kullanılan çözücü kütlece %7 klor içermektedir. Havuz için ideal klor seviyesi milyonda bir kısımdır (1 ppm). (1 ppm'i bir milyon gram su içinde 1 g klor olarak düşünün). Klorlu çözeltinin yoğunluğunu 1,10 g/mL, havuz suyunun yoğunluğunu 1,00 g/mL kabul ederseniz, 18 000 galon'luk bir yüzme havuzunda klor miktarını 1 ppm yapmak için gerekli klor çözeltisinin litre cinsinden hacmi nedir?
70. 1,000 kg'lık standart bir kütle, bir kenarı 2,50 inç olan eşkenar üçgen şeklindeki çelik bir çubuktan kesilebilir. Çeliğin yoğunluğu 7,70 g/cm^3 'tür. Bu çubuktan kaç inç kesilmesi gerektiğini bulunuz.
71. Yeryüzündeki deniz suyu hacmi yaklaşık 330 000 000 mi^3 dür. Deniz suyu kütlece %3,5 sodyum klorür içeriyor ve yoğunluğu 1,03 g/mL ise, yeryüzündeki deniz suyunda çözünmüş sodyum klorürün ton cinsinden yaklaşık kütlesi nedir? (1 ton = 2000 lb).
72. Bir metal telin çapı genellikle Amerikan kalibresi (tel ölçü birimi) ile verilir. 16 kalibrelik bir telin çapı 0,05082 inç'dir. 16 kalibrelik bakır telin 1,00 lb'lik makarasında bulunan telin metre cinsinden uzunluğu nedir? Bakırın yoğunluğu 8,92 g/cm^3 dür.
73. Deniz suyundaki magnezyum miktarı, bir kilogram deniz suyu başına 1,4 g'dır. $1,00 \times 10^5$ ton magnezyum elde edilebilmesi için işlem görecek olan deniz suyunun m^3 olarak hacmi nedir? (1 ton = 2000 lb, deniz suyu yoğunluğunu 1,025 g/mL olarak kabul ediniz)
74. Kirlenmemiş havadan ortalama toz birikme hızı, bir mil kare için ayda 10 tondur. (a) Bir saatte bir metre karede miligram cinsinden toz birikme hızı nedir? (b) Tozun ortalama yoğunluğu 2 g/cm^3 ise 1 mm kalınlığında toz tabakası ne kadar zamanda birikir?
75. Bazı ülkelerde sulama suyunun hacmi genellikle dönüm-feet olarak ifade edilir.1 dönüm-feet 1 dönümlük bir araziyi 1 ft derinliğinde kaplamaya yetecek kadar suyun hacmidir (260 dönüm = 1 mi^2; 1 mi = 5280 ft). Kaliforniya Su Projesinde temel alınan Oroville gölünün su depolama kapasitesi $3,54 \times 10^6$ dönüm-feet olarak verilmiştir. Oroville gölünün hacmini (a) ft küp ; (b) m küp ; (c) U.S galonu cinsinden ifade ediniz.
76. Fahrenheit ve Celsius termometreleri, sıcaklığı ölçülecek olan aynı ortama daldırılmıştır. Hangi Celsius sıcaklığında Fahrenheit termometresindeki sayısal okuma,
    (a) Celsius termometresindekinden 49 ° daha az
    (b) Celsius termometresindekinin iki katı
    (c) Celsius termometresindekinin sekizde biri
    (d) Celsius termometresindekinden 300° daha yüksek olacaktır?
77. Şekildeki 100 mL'lik dereceli silindirik kap 8,0 g diyatome toprağı ile yarısına kadar doldurulmuştur. Diyatome toprağı çoğunlukla silikadan oluşur ve yüzme havuzlarında süzme ortamı olarak kullanılır. Silindirik kabı 100,0 mL çizgisine kadar doldurmak için kaç mililitre su gereklidir? Diyatome toprağı suda çözünmez ve yoğunluğu 2,2 g/cm^3 dür.



78. Resmi aşağıda verilen basit bir alet olan piknometre, yoğunluğun kesin olarak tayininde kullanılır. Mevcut bilgilerden ve suyun 20 °C'deki yoğunluğunun 0,99821 g/mL olmasından yararlanarak, metanolün mililitrede gram cinsinden yoğunluğunu bulunuz.



Boş 25,601 g | 20 °C de su ile doldurulmuş 35,552 g | 20 °C de metanol ile doldurulmuş 33,490 g

79. Alıştırma 78'deki piknometre 20 °C de metanol yerine etanol ile doldurulduğunda 33,470 g geliyor. Etanolun yoğunluğu nedir? Piknometre ile yoğunluk ölçümü yaparak etanol–metanol çözeltisinin bileşimini hangi kesinlikte belirleyebilirsiniz? Çözelti yoğunluğunun, hacimce yüzde bileşim ile doğru orantılı olduğunu kabul ediniz.
80. Bir piknometre (Alıştırma 78'e bakınız) boşken 25,60 g, 20 °C'de su ile dolu iken 35,55 g gelmektedir. Suyun 20 °C deki yoğunluğu 0,9982 g/mL'dir. Piknometreye 10,20 g kurşun konulup 20 °C'deki su ile doldurulursa toplam kütle 44,83 g geliyor. Kurşunun g/cm^3 cinsinden yoğunluğu nedir?
81. Bir su arıtma bölgedeki su deposunun klorlanma hızı 1 ppm, yani 1 milyon kilogram su başına 1 kilogram klordur. Klor uygulaması hipoklorit halinde verilmektedir. Hipoklorit %47,62 klor içermektedir. Suyu kullanan nüfus 1,8 milyondur. Bir kişi bir günde 750 L su kullanırsa, 1 ppm'lik klor sağlayabilmek için su deposuna her hafta kaç kilogram sodyum hipoklorit eklenmelidir?

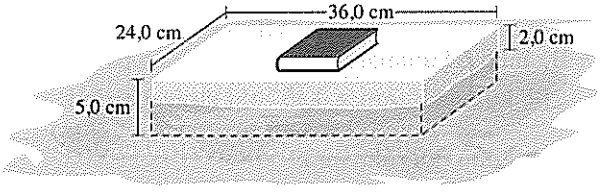
82. Bir Boeing 767 nin Montreal'den Edmonton'a uçuşunda yakıt ikmali gerekmiştir. Uçağın yakıt ölçü cihazı çalışmadığı için bir çubuk kullanılarak uçakta 7682 L yakıt kaldığı belirlendi. Uçağın uçuşunu tamamlaması için 22 300 kg yakıt gerekmektedir. Pilot, gerekli yakıt hacmini bulmak için, yakıtın hacmini yakıtın kütlesine çevirme faktörünü istedi. Görevli 1,77 faktörünü verdi. Bu faktörün metrik birim (kg/L) olduğunu varsayarak, pilot gereken ek yakıt hacmini 4916 L olarak hesapladı. Bu hacimde yakıt eklendi ancak bu yakıt tükendiğinden Winnipeg yakınında Gimli Havaalanına zorunlu olarak güvenli bir iniş yaptı. Bu hatanın nedeninin 1,77 faktörünün litrede pound olmasıydı. Eklenmesi gereken yakıt hacmi ne olmalı idi?

83. Aşağıdaki denklem Celsius cinsinden 0°C'den 20 °C'ye olan aralıkta sıvı suyun yoğunluğu için kullanılabilir.

$$d(\text{g/cm}^3) = \frac{0{,}99984 + (1{,}6945 \times 10^{-2}t) - (7{,}987 \times 10^{-6}t^2)}{1 + (1{,}6880 \times 10^{-2}t)}$$

(a) Suyun 10 °C deki yoğunluğunu dört anlamlı rakamla bulunuz.
(b) Hangi sıcaklıkta suyun yoğunluğu 0,99860 g/cm^3 tür?
(c) Eşitliğin uygulandığı sıcaklık aralığının bir yerinde, yoğunluğun maksimumdan geçtiğini aşağıdaki yollarla gösteriniz.
(i) hesaplama ile
(ii) grafik yöntemi ile
(iii) diferansiyel hesabı ile

84. Aşağıdaki şemada gösterildiği gibi, bir su küvetinde 24,0 cm, 36,0 cm ve 5,0 cm ölçülerinde yüksek yoğunluklu bir plastik köpük parçası yüzmektedir. Köpüğün üstüne 1,5 kg'lık kitap konulduğu zaman bir kısmı batmaktadır. Suyun yoğunluğunun 1,00 g/mL olduğunu kabul ederek, köpüğün yoğunluğunu bulunuz.



85. 30 °C de benzen çözücüsünde çözünen naftalin çözeltisinin yoğunluğunun, naftalinin kütlece yüzdesine (%) fonksiyonu aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$d(\text{g/cm}^3) = \frac{1}{1{,}153 - 1{,}82 \times 10^{-3}(\%N) + 1{,}08 \times 10^{-6}(\%N)^2}$$

Yukarıdaki eşitliği kullanarak,
(a) 30°C'de saf benzenin yoğunluğunu (b) 30 °C'de saf naftalinin yoğunluğunu (c) 30 °C'de % 1,15 naftalin içeren çözeltinin yoğunluğunu (d) 30 °C'de yoğunluğu 0,952 g/cm^3 olan çözeltideki naftalinin kütlece yüzdesini bulunuz. [*İpucu*: (d) için ikinci dereceden formül kullanılması gerekmektedir. Bakınız Ek A Kesim A-3]

86. Antarktika'daki toplam buz hacmi yaklaşık $3{,}01 \times 10^7$ km^3 'tür. Antarktika'da tüm buz tamamen eridiğinde bu ilave suyun okyanusa katılmasıyla deniz seviyesinin h kadar yükseldiğini farz edelim. Buzun ve suyun yoğunlukları sırasıyla 0,92 g/cm^3 ve 1,0 g/cm^3 tür. Yeryüzündeki okyanusların yaklaşık $3{,}62 \times 10^8$ km^2 olan A alanını kapladığını farz edelim. Hacimdeki artışı $A \times h$'dan hesaplayabiliriz. Deniz seviyesindeki yükselme, h yüksekliği ne olur?

87. Boş 3,00 L'lik bir şişenin ağırlığı 1,70 kg'dır. Şarap ile doldurulduğunda ağırlığı 4,72 kg gelmektedir. Şarap kütlece % 11,5 etil alkol içermektedir. Bu şarabın 250,0 mL'sinde kaç gram etil alkol bulunur?

88. Elektrik ampulü filamenti tungsten metalinden (d = 19,3 g/cm^3) yapılır ve ince tel haline dönüştürülür. Telin çapını doğrudan ölçmek zordur, bu yüzden telin belli bir uzunluğunun kütlesi ölçülerek hesaplanır. 0,200 m tungsten telinin ağırlığı 42,9 mg ise, telin çapı nedir? (Yanıtı milimetre cinsinden ifade ediniz).

89. Kan alkol içeriği (BAC) bazen, ağırlık/hacim yüzdesi olarak verilir. Buna göre, BAC % 0,10 olduğunda, kan alkol içeriği 100 mL kanda 0,1 g etil alkole karşılık gelir. Bazı mahkemelerde eğer % 0,10 kan alkol içeriği varsa kişinin sarhoş olduğu kabul edilir. 68 kg'lık bir kişinin toplam kan hacminin 5,4 L olduğunu ve saatte* 10,0 gram etil alkolü parçaladığını düşünelim. Bu 68 kg'lık kişinin kanında % 0,10 alkol içeriğinin olabilmesi için 3 saatte kaç tane 145 mL 'lik şarap kadehini tüketmesi gerekir? Şarabın yoğunluğunun 1,01 g/ mL ve kütlece % 11,5 etil alkol içerdiğini kabul ediniz. (* Etil alkolün parçalanma oranı önemli ölçüde kişiden kişiye değişir. Burada verilen oran gerçekçi olmakla birlikte ister istemez tam doğru değer değildir)

Özellikli Problemler

90. Öğrenciler, A.B.D.'nin para birimi peni'nin basıldığı yıl ile tedavüldeki kütlesi arasında bir bağıntı olup olmadığını saptamak amacıyla, peni örneklerini tartmış ve aşağıdaki verileri elde etmişlerdir.

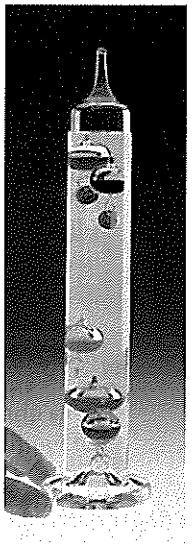
1968	1973	1977	1980	1982	1983	1985
3,11	3,14	3,13	3,12	3,12	2,51	2,54
3,08	3,06	3,10	3,11	2,53	2,49	2,53
3,09	3,07	3,06	3,08	2,54	2,47	2,53

Öğrenciler bu paranın kütlesinin verilen bir yıl içinde ve yıldan yıla değişimini hangi mantıklı nedenlerle açıklayabilirler?

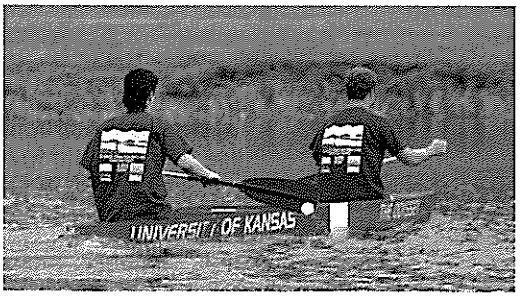
91. İ.Ö. üçüncü yüzyılda Yunan matematikçi Archimedes'in, yoğunluk tayini için önemli bir ilkeyi bulduğu söylenmektedir. Anlatılan öyküye göre, Syracuse (Sicilya'da) kralı Hiero, Archimedes'ten bir kuyumcunun kendisi için yaptığı çok süslü bir tacın saf altından yapılıp yapılmadığını ve altın-gümüş alaşımı olup olmadığını kanıtlamasını

ister. Elbetteki Archimedes'in bu işi taca zarar vermeden yapması gerekir. Eğer Archimedes'in bunu nasıl başardığını belirten öykünün geri kalan kısmını bilmiyorsanız, Archimedes'in ilkesini yeniden keşfedin ve bu ilkeyi yukarıdaki problemi çözmek için nasıl kullanabileceğinizi açıklayınız.

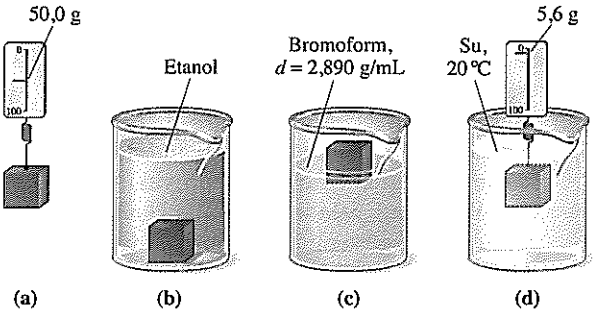
92. Fotoğrafta gösterilen Galileo termometresi, yoğunluğun sıcaklığa bağlı olmasını temel alır. Dış silindirdeki sıvı ve kısmen dolu olan yüzen cam balonlardaki sıvı aynıdır, ancak toplardaki sıvıya renkli boya eklenmiştir. Galileo termometresinin nasıl çalıştığını açıklayabilir misiniz?



93. Fotoğrafta, suda zarif bir şekilde kayan kano, yoğunluğu yaklaşık 2,4 g/cm^3 olan betondan yapılmıştır. Kanonun neden batmadığını açıklayınız.



94. Aşağıdaki çizimler küçük bir plastik blok ile yapılan deneylere ait dört gözlemi göstermektedir. Her bir deneyden hangi sonucu çıkarırsınız ve plastik bloğun yoğunluğunu nasıl bulursunuz?



95. Sayfa 13'de bahsedildiği gibi MCO (Mars İklim Uydusu), yörüngesini düzeltmek için gereken kuvveti hesaplamak üzere kullanılan birimlerde bir karışıklık olduğu için kaybolmuştu. Bazı bilgisayarlarda kuvvet düzeltme dosyası oluşturulmuştur. 29 Eylül 1999'da böyle bir bilgisayar ile kaydedilen ve MCO'nun seyir programında kullanılan kuvvetlerin 4,45 faktörü kadar düşük olduğu bulundu. Hatalı yörünge MCO'yu Mars'ın yüzeyinden 56 km yukarıya getirdi; oysa MCO yüzeyin yaklaşık 250 km uzağında istenilen eliptik bir yörüngeye girecekti. Kuvvet düzeltme dosyasında bulunan bilgiler MCO seyir programı için gerekli newton-saniye SI birimleri yerine lb-saniye olarak verildi. Kuvvet için SI birimi Newtondur ve Ek B de tanımlanmıştır. İngiliz Mühendislik (yerçekimine ilişkin) sistemi, kuvvet birimi olarak pound (lb) ve ivme birimi olarak ft/s^2 kullanır. Yerçekimine bağlı ivmenin 32,174 ft/s^2 olduğu yerde birim kütle üzerindeki yerçekimi kuvveti de pound olarak tanımlanır. Bu durumda kütle birimi slug'dır ve 14,59 kg' a eşittir. Buna göre,

İngiliz Mühendislik (BE) kuvvet birimi = 1pound
= (slug) (ft/s)^2

Bu bilgiyi kullanarak:

BE kuvvet birimi = 4,45 × SI kuvvet birimi
1 pound = 4,45 newton

olduğunu doğrulayınız.

Kendi Kendini Değerlendirme Soruları

96. Aşağıdaki terim ve simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız ve açıklayınız. (a) mL; (b) kütlece %; (c) °C; (d) yoğunluk; (e) element.
97. Aşağıdaki kavramları kısaca tanımlayınız: (a) SI temel birimleri; (b) anlamlı rakamlar; (c) doğal yasa; (d) üstel gösterim.
98. Aşağıda verilen terim çiftleri arasındaki önemli farklılıkları açıklayınız. (a) kütle ve ağırlık; (b) şiddet ve kapasite özellikleri; (c) saf madde ve karışım; (d) sistematik ve rastgele hata; (e) varsayım (hipotez) ve kuram.
99. "Sabit sıcaklıkta belirli miktarda bir gazın hacmi gaz basıncı ile ters orantılıdır" gerçeği aşağıdakilerden hangisine bir örnektir. (a) varsayım; (b) kuram; (c) model; (d) mutlak doğru; (e) doğal yasa.
100. Aşağıdakilerden hangisi homojen karışımlara en iyi örnektir.
(a) sıkıca kapatılmış şişedeki kola içeceği
(b) damıtma cihazından alınan damıtık su
(c) kaynakçılıkta kullanılan tüp içerisindeki oksijen gazı
(d) mutfak karıştırıcında (blender) oluşan materyaller

101. Aynı cismin yeryüzündeki kütlesi ile aydaki kütlesi kıyaslandığında, aydaki kütlesi, (a) daha azdır; (b) daha fazladır; (c) aynıdır; (d) yaklaşık aynı, ancak birazcık az'dır.
102. Aşağıdaki kütlelerin iki tanesi miligrama en yakın olarak ifade edilir. Bunları belirleyiniz. (a) 32,7 g; (b) 0,03271 kg; (c) 32,7068 g; (d) 32,707 g; (e) 30,7 mg; (f) 3×10^3 μg.
103. Aşağıdaki sıcaklıklardan hangisi en yüksektir? (a) 217 K; (b) 273 K; (c) 217 °F; (d) 105 °C; (e) 373 K.
104. Aşağıdaki niceliklerin hangisi en büyük kütleye sahiptir?
(a) 20 °C de 752 mL su
(b) 20 °C de 1,05 L etanol (d = 0,789 g/ mL)
(c) 20 °C de 750 g kloroform (d = 1,483 g/ mL)
(d) kenarı 19,20 cm olan küp şeklindeki balza odunu (d = 0,11 g/ cm^3)
105. 20 °C de suyun yoğunluğu 0,9982 g/cm^3 tür. 20 °C deki suyun yoğunluğunu aşağıdaki birimlerle ifade ediniz: (a) g/L; (b) kg/m^3; (c) kg/km^3.
106. İki öğrencinin her biri, bir cismin kütlesini dört kez ölçüyor. Sonuçlar aşağıdaki çizelgede görülmektedir.

	A Öğrencisi	B Öğrencisi
Dört ölçüm:	51,6, 50,8, 52,2, 50,2 g	50,1, 49,6, 51,0, 49,4 g
Ortalamaları:	51,3 g	50,0 g

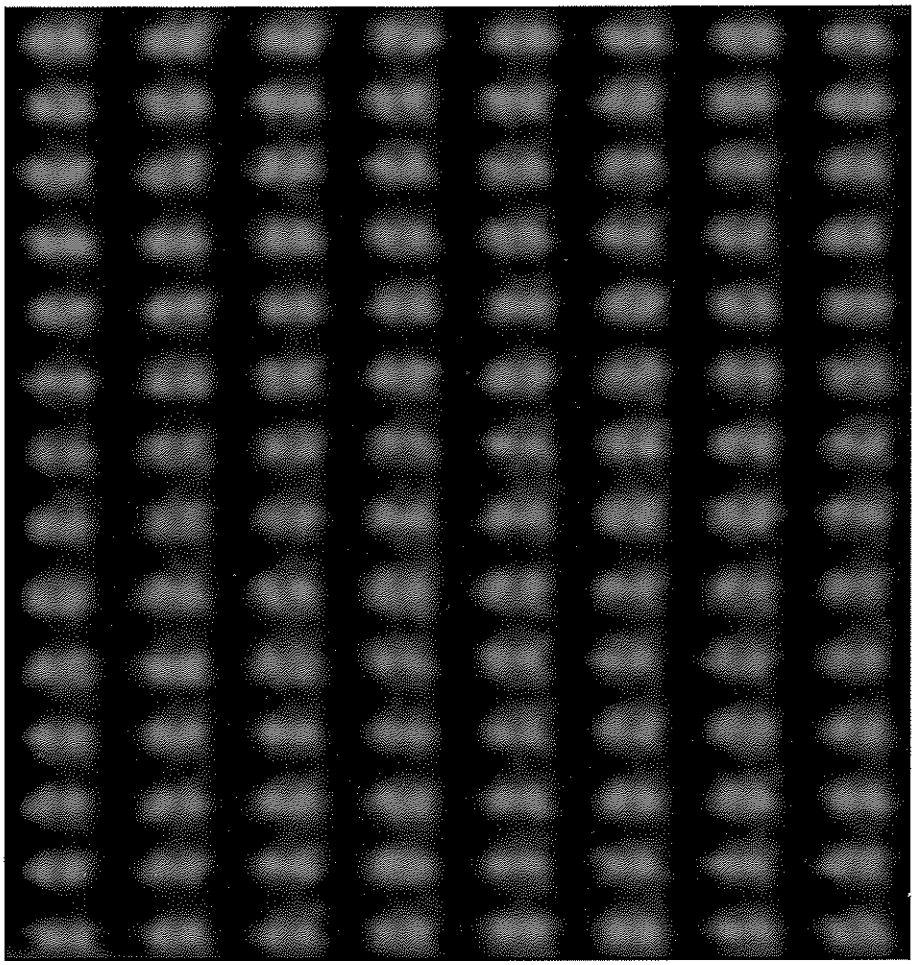
Cismin gerçek kütlesi tam 51,0 g'dır. A öğrencisinin mi, yoksa B öğrencisinin mi sonuçları daha kesindir (tekrarlanabilir). Hangi öğrencinin sonuçları daha doğrudur?
107. Dikdörtgen şeklindeki 36 cm × 20,2 cm × 9 mm boyutlarındaki karton kutunun hacmini veren değer aşağıdakilerden hangisi olmalıdır? (a) $6,5 \times 10^3$ cm^3; (b) 7×10^2 cm^3; (c) 655 cm^3; (d) $6,5 \times 10^2$ cm^3.
108. Aşağıdakileri artan kesinlik sırasına öre, kesinliği belirsiz olanları işaretleyerek, sıralayınız. (a) 1400 km; (b) 1516 kg; (c) 0.00304 g; (d) 125.34 cm; (e) 2000 mg.
109. *Ayrıntılı hesaplama yapmadan*, aşağıdaki cisimlerden hangisinin en fazla demir elementi içerdiğini açıklayınız.
(a) 1,00 kg saf demir talaşı
(b) Bir kenarı 5,0 cm olan küp şeklindeki dövme demir. Dövme demir kütlece % 98,5 demir içerir ve yoğunluğu 7,7 g/cm^3 tür.
(c) Bir kenarı 0,30 m ve kalınlığı 1,0 mm olan kare şeklindeki paslanmaz çelik levha. Paslanmaz çelik, demir ile beraber kütlece %18 krom, % 8 nikel, % 0,18 karbon içeren bir alaşımdır (karışım). Yoğunluğu 7,7 g/cm^3 tür.
(d) Aşağıda özellikleri verilmiş olan 10,0 L çözelti: d = 1,295 g/mL, kütlece % 70 su ve % 30 demir bileşiği içermektedir. Demir bileşiği ise kütlece % 34,4 demir içerir.
110. Saf bir bakır parçasının ağırlığı havada 25,305 g'dır ve 20 °C deki suya (d = 0,9982 g/mL) daldırıldığında ise 22,486 g'dır. Bakırın 248 cm^2'lik sabit kalınlıkta folyo şeklinde rulo haline getirildiğini varsayalım. Bu folyonun kalınlığı milimetre cinsinden ne olacaktır?
111. Su, bileşik olan bir maddedir. Saf su numunesi herhangi bir koşulda heterojen karışım olarak bulunabilir mi? Açıklayınız.
112. Ek-E'de kavram haritası olarak bilinen faydalı bir çalışma amaçlanmıştır. Ek-E'de verilen yöntemi kullanarak, Kesim 1-2, 1-3 ve 1-4'de verilmiş olan farklı kavramları gösteren bir kavram haritası oluşturunuz.

2

Atomlar ve Atom Kuramı

İÇİNDEKİLER

2-1 Kimyada İlk Buluşlar ve Atom Kuramı
2-2 Elektronlar ve Atom Fiziğinde Diğer Buluşlar
2-3 Atom Çekirdeği
2-4 Kimyasal Elementler
2-5 Atom Kütlesi
2-6 Periyodik Çizelgeye Giriş
2-7 Mol Kavramı ve Avogadro Sayısı
2-8 Hesaplamalarda Mol Kavramının Kullanılışı



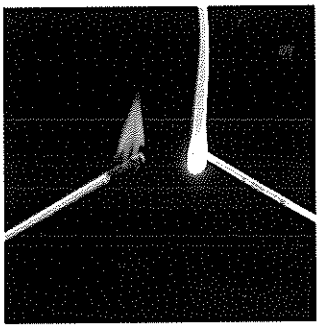
Taramalı geçirgenlik elektron mikroskobu (STEM) kullanılarak görüntülenen, birbirinden ancak 78 pm uzaklıkta silisyum atomları. Bütün maddelerin atomlardan oluştuğunu öne süren hipotez 2000 yıldır var olmasına karşın, atomların tek tek görüntülenebilmesini sağlayan teknikler ancak son yıllarda geliştirilmiştir.

Bu bölüme, kimya ile ilgili, Dalton'un atom kuramına götüren ilk buluşları kısaca özetleyerek başlayacağız. Sonra, proton ve nötrondan oluşmuş bir çekirdek ve bu çekirdeği çevreleyen elektronlardan oluşan atom modelinden, bizi günümüzdeki atom modeline getiren fiziksel kanıtları gözden geçirerek devam edeceğiz. Ayrıca, benzer özellikteki elementlerin aynı gruplarda yer aldığı periyodik çizelgeyi ve son olarak da mol kavramını ve Avogadro sayısını ele alacağız. Avogadro sayısı ve mol kavramı, atom ve moleküllerin sayısal olarak belirlenmesinde

ve madde miktarının ölçülmesinde başlıca araçtır. Bu kavramlar konu boyunca devamlı kullanılacaktır.

2-1 Kimyada İlk Buluşlar ve Atom Kuramı

Kimya, çok eskiden beri uygulaması yapılan, ilkelerinden çok uygulaması ile ilgi çeken bir bilimdir. Örneğin; demir filizinden demir eldesi için yüksek fırın M.S. 1300 yıllarında kullanılmıştır. Sülfürik asit, nitrik asit ve sodyum sülfat (Glauber tuzu) gibi önemli kimyasal maddeler yüzlerce yıldan beri bilinmekte ve kullanılmaktadır. Havanın başlıca bileşenleri olan oksijen ve azot 18. yüzyıl sona ermeden önce atmosferden elde edilmiş ve gazlarla ilgili yasalar ortaya konmuştur. Bununla birlikte, kimya, yanma olayı açıklığa kavuşturuluncaya değin bugünkü anlamıyla ortaya konamamıştır. Biz bu kesimde yanma olayının açıklanması ile Dalton'un atom kuramı arasındaki ilişkiyi belirteceğiz.



▲ ŞEKİL 2-1
İki yanma tepkimesi
Kibritin yanmasıyla oluşan, gözle görülür ürünün (kül) kütlesi kibritin kütlesinden *azdır*. Magnezyum şeridin yanma ürününün kütlesi ise yanan magnezyumun kütlesinden *fazladır*. Gerçekte, her iki durumda da toplam kütle değişmez. Bu durumu anlamak için, her iki yanmada da oksijen gazı kullanıldığını ve kibritin yanma ürünü olarak, kül yanında karbon dioksit ve su oluştuğunu bilmek gerekir.

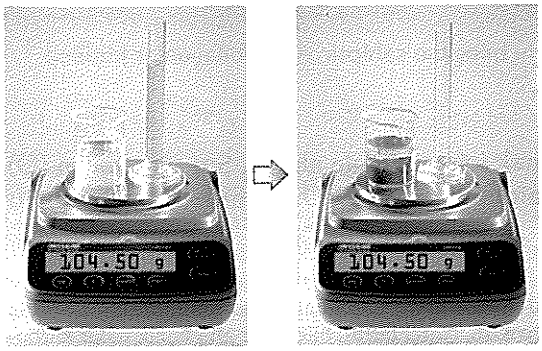
Kütlenin Korunumu Yasası

Şimdiki bilgilerimize göre, yanma olayının ne denli basit bir açıklaması olduğunu ve eski bilginlerin bu konuda niçin zorlandıklarını düşünebilirsiniz. Ancak, o zamanın bilgilerine göre açıklanması zor olan gözlemlerle karşılaşılması doğaldır. Açıklamakta zorluk çekilen kimi gözlemler Şekil 2-1 de verilmektedir.

1774 yılında Antoine Lavoisier (1743-1794) bir deney gerçekleştirmiştir. Lavoisier, bir kalay örneği ve bir miktar hava içeren bir cam balonun ağzını kapatmış ve tartmıştır. Tartım, kalay örneği+hava+balon kütlesidir. Sonra bu kapalı balonu ısıtmış ve kalayın tebeşir tozuna benzer bir toz verdiğini görmüştür. Kabı yeniden tartmış (balon+beyaz toz+kalan hava) ve kütlenin değişmediğini bulmuştur. Yaptığı daha başka deneylerle de beyaz tozun (kalay oksit) kütlesinin kalay örneğinin kütlesi ile kullandığı havanın bir miktarının kütlesi toplamına eşit olduğunu görmüştür. Havadaki oksijenin yanma için gerekli olduğunu gösteren bu ve benzeri başka deneyler sonunda Lavoisier aşağıda tanımlanan **kütlelerin korunumu yasasını** bulmuştur:

> Tepkimeden çıkan ürünlerin kütleleri toplamı tepkimeye giren maddelerin kütleleri toplamına eşittir.

Bu yasa, Şekil 2-2 de tepkenleri içeren bir beherin terazi üzerinde kütlesi izlenerek örneklendirilmiştir. Burada, gümüş nitrat ile potasyum kromat arasındaki tepkimeden kırmızı bir katı (gümüş kromat) oluşmakta ve tepkime sonucu kütle korunmaktadır. Diğer bir deyişle, maddenin korunumu yasası; maddenin bir kimyasal tepkimede yoktan var olamayacağını, var olan bir maddenin de yok olamayacağını ortaya koymaktadır.



(a) (b)

◀ ŞEKİL 2-2
Kimyasal tepkimede maddenin korunumu
(a) Tepkime öncesinde, gümüş nitrat çözeltisi içeren bir beher ve potasyum kromat çözeltisi içeren bir mezür, toplam kütleyi verecek şekilde terazi üzerine konmuştur. Toplam kütle 104,50 g olarak görülmektedir. **(b)** Bu iki çözelti karıştırıldığında bir kimyasal tepkime meydana gelmekte ve gümüş kromat (kırmızı çökelek) ve potasyum nitrat oluşmaktadır. Toplam kütlenin değişmediğine ve yine 104,50 g olarak kaldığına dikkat ediniz.

ÖRNEK 2-1 Kütlenin Korunumu Yasasının Uygulanması

Bir magnezyum örneğinin 0,455 gramı 2,315 g oksijen gazı içinde yakılıyor. Buradaki tek ürün magnezyum oksittir. Tepkime sonunda geriye magnezyum kalmayıp, 2,015 g oksijen tepkimeye girmeksizin kalmıştır. Oluşan magnezyum oksidin kütlesi nedir?

Analiz

Toplam kütle değişmemektedir. Toplam kütle, başlangıçta tepkimeye girecek maddelerin toplamıdır. Magnezyum oksidin kütlesi, toplam kütleden tepkimeye girmeyen oksijenin kütlesinin çıkartılması ile bulunur.

Çözüm

İlk olarak, tepkimeden önce toplam kütleyi bulunuz.

Tepkime öncesi kütle = 0,455g magnezyum + 2,315 g oksijen
= 2,770 g tepkime öncesi kütle

Tepkimeden sonraki toplam kütle, tepkimeden önceki toplam kütle ile aynıdır.

2,770 g tepkime sonrası kütle = ? g magnezyum oksit tepkime sonrası + 2,015 g oksijen tepkime sonrası

Magnezyum oksidin kütlesi için çözünüz.

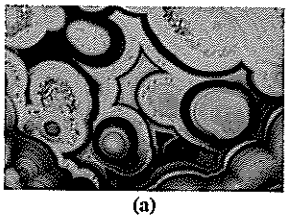
? g magnezyum oksit tepkime sonrası = 2,770 g tepkime sonrası kütle − 2,015 g oksijen tepkime sonrası
= 0,755 g magnezyum oksit tepkime sonrası

Değerlendirme

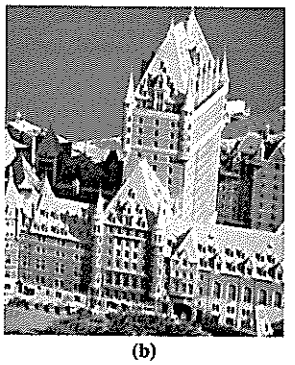
Bir diğer yaklaşım: Tepkimeye giren oksijenin kütlesi, 2,315 g − 2,015 g = 0,300 g dır. Böylece, 0,300 g oksijen 0,455 g magnezyum ile tepkimeye girerek, 0,300 g + 0,455 g = 0,755 g magnezyum oksit verir.

ALIŞTIRMA A: 0,382 g magnezyum örneği 2,655 g azot gazı ile tepkimeye girmekte ve ürün olarak sadece magnezyum nitrür elde edilmektedir. Tepkime sonrası artan azot 2,505 g dır. Oluşan magnezyum nitrürün kütlesi nedir?

ALIŞTIRMA B: 7,12 gramlık bir magnezyum örneği 1,80 g brom ile ısıtılmıştır. Bütün brom kullanılmış ve tek ürün olarak 2,07 g magnezyum bromür elde edilmiştir. Tepkimeye *girmemiş* magnezyumun kütlesi nedir?



(a)



(b)

▲ Malahit minerali **(a)** ve bakır çatı üzerindeki yeşil parlaklık **(b)** bazik bakır karbonattır. Her ikisi de Proust'un 1799 da elde ettiği bazik bakır karbonat ile aynı bileşimdedir.

2-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Jan Baptista van Helmont (1579-1644) tartılmış bir söğüt fidesini bir miktar tartılmış toprağa ekti. Beş yıl sonra toprağın kütlesinin 0,057 kg azaldığını, ağacın ise 75 kg arttığını buldu. Bu zaman içinde kova içine ekilmiş ağaca sadece su vermişti. Helmont ağaçdaki bu kütle artışının tamamiyle sudan geldiği sonuçuna varmıştı. Bu sonuç doğru mudur? Açıklayınız.

Sabit Oranlar Yasası

Joseph Proust (1754-1826) 1799 da "yüz pound bakırı, sülfürik asit ya da nitrik asitte çözüp, sonra soda ya da potas ile karbonat şeklinde çöktürdüğünde, daima 180 pound (81700 kg) yeşil karbonat" elde ettiğini rapor etmiştir.* Bu ve benzer deneylerden çıkan sonuç, **sabit oranlar yasasıdır**:

> Bir bileşiğin bütün örnekleri aynı bileşime sahiptir. Yani, bileşenler kütlece sabit bir oranda birleşirler.

Sabit oranlar yasasını anlamak için suyu ele alalım. Su, bir oksijen (O) atomu başına iki hidrojen (H) atomu taşır ve H_2O şeklinde simgelenir. Bu simgeye *kimyasal formül* denir.

*Proust'un elde ettiği yapı, gerçekten *bazik* bakır karbonat olarak adlandırılan *kompleks* bir yapıdır. Proust'un sonuçları doğruydu, çünki bütün bileşikler gibi bazik bakır karbonat da belli bir bileşime sahiptir. 1 pound = 454 g

Aşağıda verilen iki örnekte de bu iki elementin kütlece yüzdeleri aynıdır. Sözgelimi, hidrojenin kütlece yüzdesi, örnekteki hidrojen kütlesinin, örneğin kütlesine bölünüp 100 ile çarpılmasıyla elde edilir. Bunu yaparsanız, her iki örnekteki hidrojenin kütlece yüzdesinin %11,19 olduğunu görürsünüz.

Örnek A ve Bileşimi		Örnek B ve Bileşimi	
10,000 g		27,000 g	
1,119 g H	% H = 11,19	3,021 g H	% H = 11,19
8,881 g O	% O = 88,81	23,979 g O	% O = 88,81

ÖRNEK 2-2 Sabit Oranlar Yasasının Kullanılması

Örnek 2-1 de, 0,455 g magnezyumun 2,315 g oksijen ile tepkimesinden, 0,755 g magnezyum oksit elde edildiğini bulduk. 0,500 g magnezyum oksit örneğindeki magnezyum kütlesini bulunuz.

Analiz

0,755 g magnezyum oksidin 0,455 g magnezyum içerdiğini biliyoruz. Sabit oranlar yasasına göre, 0,455 g magnezyum / 0,755 g magnezyum oksit kütle oranı bütün magnezyum oksit bileşiklerinde aynı olmalıdır.

Çözüm

Sabit oranlar yasasının uygulanması ile

$$\frac{0{,}455 \text{ g magnezyum}}{0{,}755 \text{ g magnezyum oksit}} = \frac{? \text{ g magnezyum}}{0{,}500 \text{ g magnezyum oksit}}$$

Yukarıdaki ifadenin çözümü ile magnezyumun kütlesini elde ederiz

$$? \text{ g magnezyum} = 0{,}500 \text{ g magnezyum oksit} \times \frac{0{,}455 \text{ g magnezyum}}{0{,}755 \text{ g magnezyum oksit}}$$

$$= 0{,}301 \text{ g magnezyum}$$

Değerlendirme

Bu problem kütlece yüzdeler kullanılarak da çözülebilir. Eğer 0,755 g magnezyum oksit, 0,455 g magnezyum içeriyorsa, magnezyum oksidin, (0,455 g / 0,755 g) × %100= %63 ü kütlece magnezyum, (% 100—% 60,3) = % 39,7 si kütlece oksijendir. Böylece, bir 0,500 g magnezyum oksit örneği, 0,500 g × %60,3 = 0,301 g magnezyum ve 0,500 g × % 39,7 = 0,199 g oksijen içermelidir.

ALIŞTIRMA A: Tam tamına 2,00 g magnezyum oksit elde etmek için tepkimeye sokmamız gereken magnezyum ve oksijenin kütlelerini bulunuz.

ALIŞTIRMA B: 10,00 g magnezyum ve 10,00 g oksijenin tepkimesinden hangi bileşik oluşur ve kütlesi nedir?

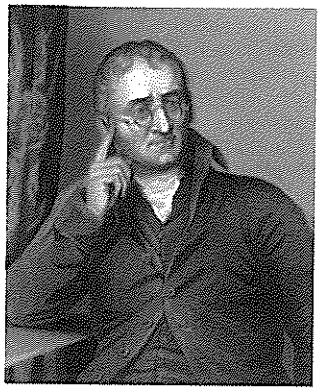
2-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

4,15 g magnezyum ve 82,6 g brom tepkimeye girdiği zaman, (1) bütün magnezyum harcanır, (2) biraz tepkimeye girmemiş brom kalır, (3) sadece magnezyum bromür oluşur. Yalnız bu bilgi ile oluşan magnezyum bromürün kütlesini bulmak mümkün müdür? Açıklayınız.

Dalton Atom Kuramı

Kimyasal birleşmenin yukarıdaki iki yasasından yararlanan İngiliz eğitmen John Dalton 1803-1808 tarihleri arasında bir atom kuramı geliştirdi. Dalton'un atom kuramı üç varsayıma dayanır.

1. Her bir element atom adı verilen çok küçük ve bölünemeyen taneciklerden oluşmuştur. Atomlar kimyasal tepkimelerde oluşamazlar ve bölünemezler.



▲ John Dalton (1766–1844), atom kuramcısı. Dalton belki de renk körü olduğundan iyi bir deneyci sayılmamıştır (günümüzde bazen renk körlüğüne daltonizm denir). Ama atom kuramını geliştirmek için başkalarının deney sonuçlarını başarıyla kullanmıştır.

2. Bir elementin bütün atomlarının kütlesi (ağırlığı) ve diğer özellikleri aynıdır. Fakat bir elementin atomları diğer bütün elementlerin atomlarından farklıdır.
3. Kimyasal bir bileşik iki ya da daha çok sayıda elementin basit sayısal bir oranda birleşmesiyle oluşur. Örneğin, bir atom A ve bir atom B (AB) ya da bir atom A ve iki atom B (AB_2) gibi.

Buna göre, eğer bir elementin atomu bölünemiyorsa, kimyasal tepkime öncesi var olan atomların *aynısı*, tepkime sonrasında da var olmalıdır (birinci varsayım). Bu durumda kütle değişmez. İşte Dalton kuramı kütlenin korunumu yasasını böyle açıklamaktadır. Diğer taraftan, eğer bir elementin bütün atomları kütlece aynı ise (ikinci varsayım) ve atomlar *belirli* sayısal oranlarda iseler (üçüncü varsayım) bir bileşiğin yüzde bileşimi tek bir değer olmalıdır ve bu bileşim bileşiğin nasıl sentez edildiğine bağlı olmamalıdır. Demek ki, Dalton kavramı sabit oranlar yasasına da uygundur.

Dalton atom kuramı **katlı oranlar yasasını** anlamamızı da sağlar.

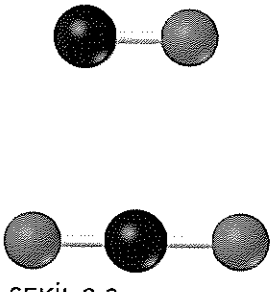
> Eğer iki element birden fazla bileşik oluşturursa, bu elementlerden herhangi birinin sabit miktarıyla birleşen diğer elementin kütleleri arasında küçük tamsayılarla ifade edilebilen bir oran vardır.

UNUTMAYINIZ

Bütün bilmemiz gereken, ikinci oksidin birincisinden oksijence iki kat daha zengin olduğudur. Eğer birinci oksit CO ise, ikincisi için olabilecek oksitler: CO_2, C_2O_4, C_3O_6 vb. dir. (Alıştırma 18 e de bakınız.)

Bunu anlamak için karbonun iki oksidini ele alalım (oksit, bir elementin oksijenle verdiği bileşiktir). 1,000 g karbon birinci oksitte 1,333 g oksijenle, diğerinde ise 2,667 oksijenle birleşmiştir. İkinci oksit oksijence daha zengin olup, birinciden iki kat daha fazla oksijen içermektedir; 2,667 g/1,333 g = 2,00. Bugün biz biliyoruz ki, birinci oksit CO, ikincisi CO_2 formülüne sahiptir (Şekil 2-3).

Element atomlarının karakteristik bağıl kütlelerine atom ağırlığı denmiştir. Kimyacılar 19. yüzyıl boyunca, bağıl atom ağırlıkları için uygun değerler bulmaya çalışmışlardır. Bununla birlikte, pek çok kimyacı da çalışmalarını yeni elementler bulma, yeni bileşikler sentezleme, maddelerin analizi için yeni teknikler geliştirme ve genellikle de kimya biliminin ilkelerini belirleme konularında yoğunlaştırmışlardır. Daha sonra, atom yapısı, gelecek birkaç kesimde de göreceğimiz gibi, fizikçilerin başlıca uğraş konusu olmuştur.

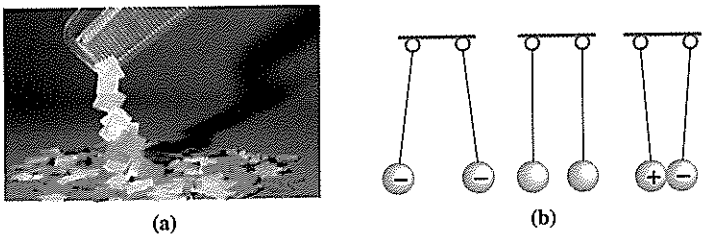


▲ ŞEKİL 2-3
CO ve CO_2 molekülleri ile katlı oranlar yasasının gösterilişi
Karbonun kütlesi iki bileşikte de aynıdır, fakat CO_2 deki oksjenin kütlesi, CO deki oksijenin kütlesinin iki katıdır. Böylece, katlı oranlar yasasına göre, iki bileşikteki oksijenin kütlesi, sabit kütledeki karbona göre, küçük bir tamsayı ile ifade edilebilen, 2:1 orandadır.

2-2 Elektronlar ve Atom Fiziğinde Diğer Buluşlar

Atomun yapısını anlayabilmemiz için, atom fiziğindeki bütün buluşları teker teker incelememiz gerekmez. Ancak, elektrik ve manyetizma arasındaki ilişki ile ilgili bir kaç ön bilgiye gereksinmemiz vardır. Bunları burada kısaca inceleyeceğiz. Aşağıda elektrik ve manyetizma ile ilgili verilen deneyler bizi atom kuramına götürecektir.

Bazı cisimler pozitif (+) ya da negatif (–) elektrik yükü taşırlar. Her ikisi negatif ya da pozitif yüklü iki cisim birbirini iterken, pozitif ve negatif yük taşıyan iki cisim birbirlerini çeker. Bu bölümde göreceğimiz gibi, bütün maddeler yüklü parçacıklardan oluşur. Elektriksel olarak nötür olan bir cisim, eşit sayıda pozitif ve negatif yüklü parçacığa sahip olup, net yük içermez. Eğer pozitif yük sayısı negatif yük sayısından fazlaysa, böyle bir cisim net pozitif yüke sahiptir. Eğer negatif yük sayısı pozitif yük sayısından fazlaysa, cisim net negatif yüke sahiptir. Saçlarımızı tararken olduğu gibi, bir cismi diğerine sürterek ovduğumuzda bir durgun elektrik yükü oluşur. Bu olayda sürtme ile bir kısım pozitif ve negatif yük ayrılır (Şekil 2-4). Bundan başka, bir yerde durgun pozitif yük oluştuğunda, baş-



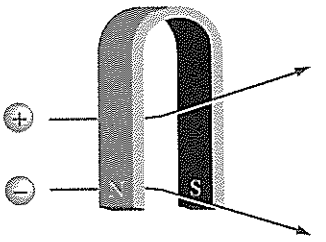
(a) (b)

◀ Birçok kimyasal özellikleri anlamak ve açıklamak için *elektrostatiği* (yüklerin birbirini itmesi ve çekmesi) kullanacağız.

▲ ŞEKİL 2-4
Elektrik yüklü cisimler arasındaki kuvvetler
(a) Elektrik yüklü tarak. Eğer saçlarınızı kuruyken tararsanız tarakta durgun yük oluşur ve yaklaştırıldığında kağıt parçalarını çeker. **(b)** Soldaki her iki cisim de negatif elektrik yükü taşır. Benzer yük taşıyan cisimler birbirini iterler. Ortadaki cisimler herhangi bir elektrik yükü taşımadığından birbirleri üzerine kuvvet uygulamazlar. Sağdaki cisimler zıt yükler taşırlar (biri pozitif ve diğeri negatif) ve birbirlerini çekerler.

ka bir yerde de eşit büyüklükte negatif yük oluşur; böylece yük dengelenmiş olur.

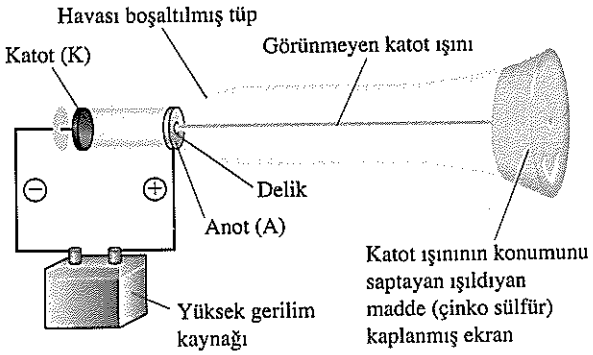
Şekil 2-5 de elektrik yüklü parçacıkların, bir manyetik alandan geçerken nasıl davrandıkları görülmektedir. Manyetik alanda bu parçacıklar alana dik bir düzlemdeki doğrusal yollarından sapmaktadırlar. Manyetik alanı, mıknatısın kuzey kutbundan (N) güney kutbuna (S) doğru, gözle görünmeyen "kuvvet çizgileri" şeklinde düşünürüz.



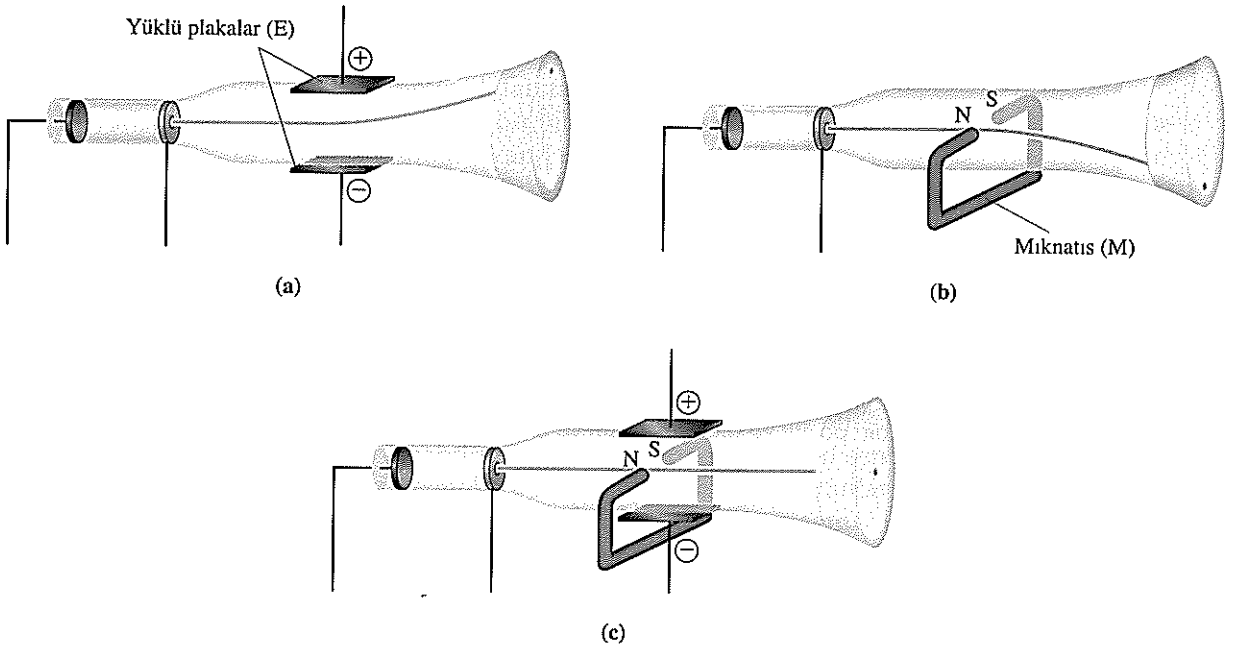
▲ ŞEKİL 2-5
Manyetik alanın yüklü parçacıklara etkisi
Yüklü parçacıklar bir manyetik alana dik olarak gönderilirse, alan tarafından saptırılırlar. Negatif yüklü parçacıklar bir yöne, pozitif yüklü parçacıklar zıt yöne saparlar. Bu kesimde göreceğimiz olayların çoğu bu davranışa dayanır.

Elektronların Keşfi

Katot ışınları tüpü için kullanılan kısaltma, CRT, çok sık kullandığımız kısaltılmış sözcüklerden biriydi. Bugün kullandığımız sıvı kristal ekran (LCD) mevcut olmadan önce, CRT bilgisayar monitörü ve TV ekranlarının kalbiydi. İlk katot ışını tüpü Micheal Faraday (1791-1867) tarafından, yaklaşık 150 yıl önce yapılmıştır. Faraday, havası büyük oranda boşaltılmış bir cam borudan elektrik akımı geçirdiği zaman, negatif uç veya *katot* tarafından yayılan **katot ışınlarını** keşfetmiştir. Bu ışınlar havası boşaltılmış tüpten geçerek *anoda* ulaşırlar. Daha sonraki araştırıcılar katot ışınlarının tüp içinde bir doğru boyunca yol aldıklarını ve katodun yapılmış olduğu maddeye (demir, platin, vb.) bağlı olmadıklarını bulmuşlardır. Şekil 2-6 da katot ışını tüpünün yapısı görülmektedir. Gerçekte katot ışınları gözle görülmezler. Ancak çarptıkları bir yüzeyden yaydıkları ışıkla görülebilirler. Katot ışını tüpünün ucu **ışıldayabilen** maddelerle boyanır ve böylece katot ışınları görülebilir. (Yüksek enerjili bir ışının bir madde yüzeyine çarpmasıyla ışık yayılmasına *floresans* denir). Katot ışınlarının önemli bir özelliği, elektrik ve manyetik alanlardaki davranışlarıdır. Bu ışınlar elekt-



◀ ŞEKİL 2-6
Katot ışını tüpü
Yüksek gerilim kaynağı soldaki elektrot (katot) üzerinde negatif yük oluşturur. Sağdaki elektrotta (anot) ise pozitif yük meydana getirir. Katottan çıkan katot ışınları metal bir levhanın yarığından geçerek anoda gider. Katot ışını, ancak, çinko sülfür kaplanmış bir ekran üzerinde oluşturduğu yeşil floresansla görülebilir. Tüpün diğer yerlerinde ise katot ışınları görünmez.



▲ ŞEKİL 2-7
Katot ışınları ve özellikleri
(a) Bir elektriksel alanda katot ışınlarının sapması. Katot ışınları demeti soldan sağa doğru elektriksel olarak yüklü plakalar (E) boyunca hareket ederken sapmaya uğrarlar. Sapmalar negatif parçacıklardan beklendiği gibidir. **(b)** Bir manyetik alanda katot ışınlarının sapması. Katot ışınları demeti soldan sağa doğru mıknatıs alanında (M) hareket ederken sapmaya uğrarlar. Burada da sapmalar negatif yüklü parçacıklardan beklendiği gibidir. **(c)** Katot ışınlarında kütle-yük, *m/e* oranının belirlenmesi. Eğer katot ışınları demetini elektrik ve manyetik alan kuvvetleri ters yönde dengeferse, ekrana çarpan katot ışınları sapmaya uğramazlar. Elektrik ve manyetik alan kuvvetleri de diğer verilerle birlikte bilindiğinde, *m/e* değeri hesaplanabilir. Yapılan duyarlı ölçümler sonunda bu oran $-5{,}6857 \times 10^{-9}$ g/C bulunmuştur (katot ışınları negatif yüklü olduklarından, kütle-yük oranı da negatiftir).

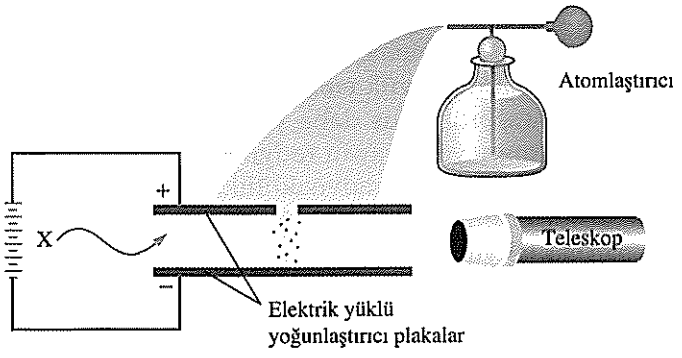
rik alanında ve manyetik alanda, tıpkı negatif yüklü bir parçacık gibi sapmaya uğrarlar (Şekil 2-7a, b).

1897 de J. J. Thomson (1856-1940), Şekil 2-7c deki yöntemi kullanarak, katot ışınlarının kütlesinin (m) yüküne (e) oranını, yani m/e değerini hesapladı. Yine Thomson, katot ışınlarının, bütün atomlarda bulunan, negatif yüklü *temel* parçacıklar olduğunu ileri sürdü. Katot ışınlarının özellikleri katodun bileşiminden *bağımsızdır*. Bundan sonra katot ışınlarına **elektronlar** adı verildi. Bu terimi ilk kullanan George Stoney'dir (1874).

Robert Millikan (1868-1953) 1906-1914 yılları arasında bir dizi "yağ damlası" deneyi yaparak elektron yükünü (e) tayin etmiştir (Şekil 2-8). Elektronun yükü, $1{,}6022 \times 10^{-19}$ C dur. Bu değer, elektronun kütle/yük bağıntısında yerine konursa, kütle (m) için, $9{,}1094 \times 10^{-28}$ g değeri bulunur.

▶ Kulon (C) SI birim sisteminde elektrik yük birimidir (Ek B ye bakınız).

Elektronun bütün atomlarda bulunan temel bir tanecik olduğu kabul edildikten sonra, atom fiziği ile uğraşan bilim adamları bu elektronların atom içinde nasıl bulunduklarını araştırmaya başlamışlardır. Öne sürülen çeşitli modeller içinde J. J. Thomson'un atom modeli en fazla taraftar toplayan model olmuştur. Thomson'a göre, nötür bir atomda eksi yükü den-



◀ ŞEKİL 2-8
Millikan'nın yağ damlası deneyi
X-ışınları (X) gibi ışınlar iyonlar (elektrik yüklü atom ya da moleküller) oluşturur. Bu iyonlardan bazıları damlacıklara katılarak, onları yüklü hale getirir. Elektrik yüklü plakalar arasına gelen damlaların hızı ya artar ya da azalır. Hızın nasıl değişeceği damlacıklar üzerindeki yükün büyüklüğüne ve işaretine bağlıdır. Millikan, çok sayıda damlacığın davranışını inceleyerek elde ettiği sonuçlardan hareket etmiş ve bu damlacık üzerindeki yük büyüklüğünün, q, elektron yükünün, e, katları olduğunu bulmuştur. Yani, $q = ne$ (burada n = 1, 2, 3,....) olduğunu saptamıştır.

geleyen artı yükler bulunmalı ve bu artı yükler bulut şeklinde olmalıdır. Elektronlar bu pozitif yük bulutu içinde yüzmelidir (Şekil 2-9).

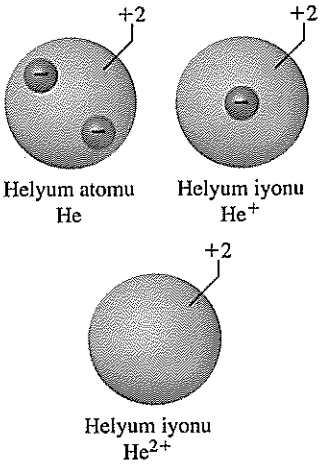
X-ışınları ve Radyoaktiflik

Katot ışınları ile ilgili araştırmalar birçok farklı araştırmaya da yardımcı olmuştur. Özellikle, kuramsal ve pratik öneme sahip iki doğal olay bu araştırmalar sonucunda keşfedilmiştir.

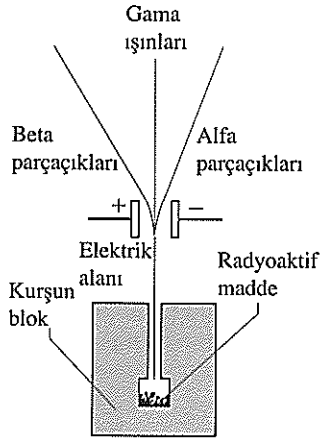
1895 de Wilhelm Roentgen (1845-1923) katot ışını ile çalışırken, katot ışını tüpü *dışında* bulunan bazı maddelerin bir ışıma yaptığını ya da floresans ışık yaydığını fark etti ve bu floresansın, katot ışını tüpünün yaydığı ışından ileri geldiğini gösterdi. O zaman bu ışığın niteliği bilinmediğinden, Roentgen buna *X-ışını* adını verdi. Artık X- ışınının yüksek enerjili elektromanyetik ışın olduğunu biliyoruz ve Bölüm 8'de inceleyeceğiz.

Antoine Becquerel (1852-1908), doğal floresans maddelerin X-ışınları yayıp yaymadıklarını merak etti ve bunu anlamak için bir fotoğraf plakasını siyah kağıda sardı, uranyum içeren floresans bir madde ile kaplanmış bir madeni parayı bu siyah kağıdın üzerine koydu. Sonra bu paketi güneş ışığında bıraktı. Bir süre sonra fotoğraf plakasını banyo ettiğinde, plaka üzerine paranın tam bir gölgesinin çıktığını gördü. Bu sonuca göre, floresans maddenin ışın (olasılıkla X-ışını) yaydığına ve bu ışının kağıttan geçtiğine karar verdi. Deneyi tekrarlamak için yine aynı işlemleri yapmak istediği sırada hava kapalı olduğu için, hazırladığı paketi, havanın açmasını beklemek amacıyla, masanın çekmecesine koydu. Bir kaç gün sonra hava açtı ve deneyini tekrarlamak için paketi çekmeceden çıkardı. Ama bir kaç gün beklemenin fotoğraf plağına az da olsa zarar vermiş olabileceğini düşünerek, değiştirmek istedi. Ancak, çekmecede sakladığı paket içindeki plağı da banyo etti. Hayretle gördü ki, yine paranın tam bir gölgesi çıkmıştı, yani uranyum içeren madde karanlıkta bile (floresan olmadığı zaman bile) sürekli ışın yaymıştı. Becquerel böylece **radyoaktifliği** keşfetmişti.

Ernest Rutherford (1871-1937) radyoaktif maddelerin yaydığı ışınlardan ikisini, alfa (α) ışını ve beta (β) ışınını buldu. **Alfa parçacıkları** iki temel pozitif yük birimi taşıyan ve helyumun kütlesine sahip olan taneciklerdir ve He^{2+} iyonu ile aynı özelliğe sahiptirler. **Beta parçacıkları**, radyoaktif atomların çekirdeğinde meydana gelen değişmeler sonucu ortaya çıkan negatif yüklü taneciklerdir ve elektron ile aynı özellikleri taşırlar. **Gama (γ) ışını** adı verilen ve elektrik alanından etkilenmeyen üçüncü ışın Paul Villard (1900) tarafından bulunmuştur. Gama ışınları, parçacık değil-



▲ ŞEKİL 2-9
Küresel atom modeli
Bu modele göre helyum atomu pozitif bir yük bulutu (+2) ve iki elektron (–2) taşır. Eğer helyum atomu bir elektron kaybederse, yük kazanır ve bir iyon olur. Bu iyon He^+ şeklinde gösterilir ve +1 net yüke sahiptir Eğer helyum her iki elektronunu da kaybederse He^{2+} iyonu oluşur.



▲ ŞEKİL 2-10
Radyoaktif maddenin yaydığı üç ışın
Radyoaktif madde, kurşun bir blokun içindeki oyuğa konur. Oyuğun ağzından dışarı yayılanlar dışında, bütün ışın kurşun blok tarafından tutulur. Dışarı çıkan ışın bir elektrik alanından geçirilirse, üç ışın demetine ayrılır. Sapmayan ışın *gama* (γ) ışınıdır. Negatif yüklü plakaya doğru sapan ışın demeti pozitif yüklüdür ve *alfa* (α) parçacıklarıdır. Üçüncü demet ise pozitif yüklü plakaya doğru sapar ve negatif yüklü *beta* (β) parçacıklarından oluşmuştur.

dir ve deliciliği çok fazla olan elektromanyetik ışındır. Radyoaktifliğin bu üç türü Şekil 2-10 da görülmektedir.

1900'lerin başında, başka radyoaktif elementler de keşfedildi. Özellikle Marie ve Pierre Curie'nin bu konuda büyük emekleri vardır. Rutherford ve Frederick Soddy başka bir çarpıcı buluş daha yaptılar ve bunu şöyle ifade ettiler: Radyoaktif bozunmaya uğrayan radyoaktif bir elementin kimyasal özellikleri *değişir* . Bu buluşa göre radyoaktiflik, *atom altı düzeyde* meydana gelen temel değişmelerdir. Yani, radyoaktif bozunmada bir element başka bir elemente dönüşür ve işlem *dönüşüm* olarak bilinir.

2-3 Atom Çekirdeği

1909 da Rutherford ve yardımcısı Hans Geiger, atomun içyapısını ortaya çıkarmak için, alfa parçacıklarından yararlanarak bir dizi araştırma başlattılar. Bunun için Thomson'un atom modelini (küresel pozitif yük bulutu içinde dağılmış elektronlar) temel aldılar. Rutherford'un beklentisine göre, alfa parçacıkları demeti, bulutun ince kesimlerinden geçerken büyük oranda bir sapmaya uğramayacak, ancak bazı alfa parçacıkları bulut içinde elektronlarla karşılaştıklarında hafif saçılmaya ya da sapmaya uğrayacaklardı. Bu saçılmayı inceledikleri zaman, elektronların atom içindeki dağılımı ile ilgili bazı bilgiler edinebileceklerini umuyorlardı.

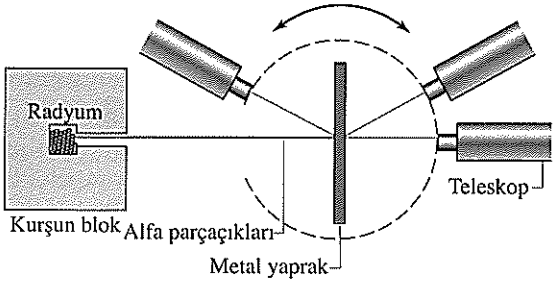
Rutherford'un bu çalışmalar için tasarladığı düzenek Şekil 2-11 da görülmektedir. Alfa parçacıklarının saçılması, bir teleskop ucuna yerleştirilen çinko sülfür ekrana çarptıkları zaman meydana getirecekleri ışıltılar yardımıyla saptanacaktı. Geiger ve bir öğrenci olan Ernest Marsden, çok ince altın yapraklarına alfa parçacıkları gönderdiler ve aşağıdaki verileri elde ettiler.

- Metal yaprağa gelen α parçacıklarının büyük çoğunluğu sapmaya uğramadan geçti.
- Bazı α parçacıkları çok az sapmaya uğradı.
- Birkaç tanesi (yaklaşık 20 000 de biri), yaprağı geçerken önemli bir miktarda saptı.
- Yine bir kaç tanesi yaprağı geçemedi ve tam geriye döndü.

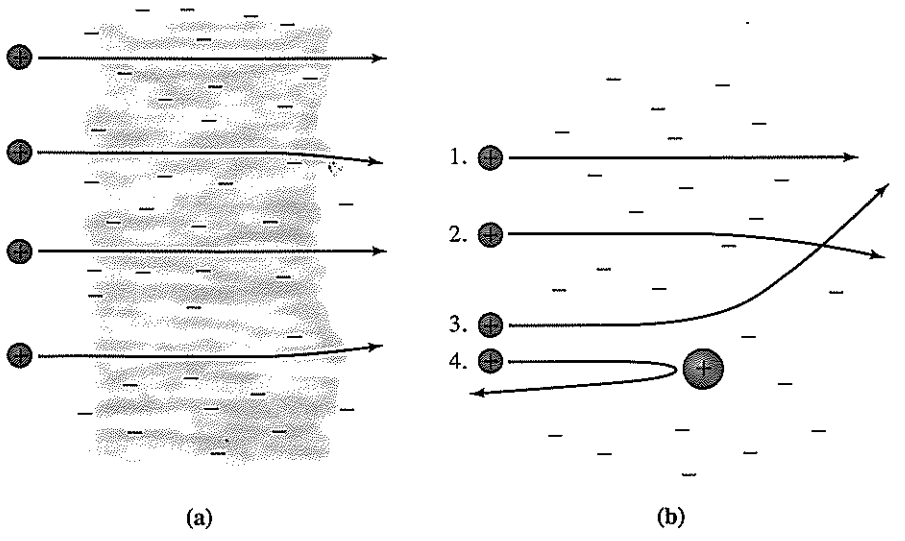
Büyük açılı sapmalar Rutherford'u şaşırtmıştır. Bu şaşkınlığını bir kaç yıl sonra şöyle ifade etmiştir: "Bazı alfa parçacıklarının geri dönmesi, 15 inçlik bir mermiyi bir parça kağıda nişan alıp ateşlediğinizde, merminin kağıttan geri dönüp sizi vurması kadar şaşırtıcıydı." Bununla birlikte, Rutherford 1911'de bu deney sonuçlarına bir açıklama getirmiştir. Rutherford açıklamasını *atom çekirdeği* içeren bir atom modeli üzerine kurdu. Bu atom modeli şu özelliklere sahiptir:

1. Bir atomun kütlesinin çok büyük bir kısmı ve pozitif yükün tümü, *çekirdek* denen çok küçük bir bölgede yoğunlaşır. Atomun büyük bir kısmı *boş bir uzay* parçasıdır.
2. Pozitif yükün büyüklüğü atomdan atoma değişir ve elementin atom ağırlığının yaklaşık yarısıdır.
3. Çekirdeğin dışında, çekirdek yüküne eşit sayıda elektron bulunur. Atomun kendisi elektrik yükü bakımından nötürdür.

▶ Belki de karanlık bir odada oturup, çinko sülfür ekran üzerinde oluşacak ışıklı noktaları saymak kendisine yorucu geldiğinden, Geiger otomatik bir ışın sayacı (dedektör) yapmak zorunda kaldı ve böylece Geiger sayacı icat edilmiş oldu.



▶ ŞEKİL 2-11
Alfa parçacıklarının bir metal yaprak tarafından saçılması
Teleskop, metal yaprağı içeren çember etrafında dönebilmektedir. Alfa parçacıklarının çoğu metal yapraktan sapmaksızın geçer. Fakat bazıları büyük açılar yaparak saparlar.



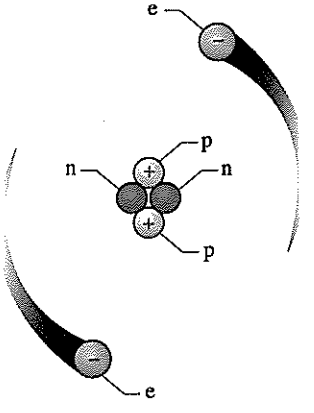
▲ ŞEKİL 2-12
α-parçacığı saçılma deneyleri sonuçlarının açıklanması
(a) Rotherford'un beklentisi küçük, pozitif yüklü α parçacıklarının Thomson atom modelinin pozitif yüklü atom bulutundan önemli bir sapmaya uğramadan geçeceği yönündeydi. Bazı α parçacıkları elektronların yanından geçerken hafifçe sapabilirdi. (b) Rutherford'un açıklaması atom çekirdeği üzerine kurulmuştur. Küçük ve yoğun pozitif yüklü çekirdeğe sahip bir atom modelinde, α parçacıklarının dört çeşit yol izlediği görülmüştür.

1. α parçacıklarının çoğu doğrultularından sapmazlar.
2. elektronlara yakın yol izleyen α parçacıkları hafif sapmaya uğrarlar.
3. çekirdeğe yakın yol izleyen α parçacıkları şiddetle saparlar.
4. çekirdeğe tam karşıdan yaklaşan bir yol izleyen α parçacıkları geriye yansırlar.

Rutherford'un beklentisi ve α parçacığı deneylerinin açıklaması Şekil 2-12 de verilmiştir.

Proton ve Nötronların Keşfi

Rutherford'un atom modeline göre, atomların çekirdeklerinde pozitif yüklü temel tanecikler vardır. Rutherford'un kendisi, havadaki azot atomları tarafından saçılan alfa parçacıklarını incelerken (1919) bu parçacıkları keşfetmiş ve bunlara protonlar adını vermiştir. α parçacıkları ile azot atomlarının çekirdeği çarpıştığında protonların açığa çıktığını saptamıştır. Yine bu tarihte, Rutherford çekirdek içinde elektrik bakımından nötür temel taneciklerin de bulunacağını tahmin etti. James Chadwick 1932 de, *nötür* parçacıklardan meydana gelmiş, yeni bir delici ışın keşfetti. **Nötron** adı verilen bu parçacıklar atom çekirdeğinden geliyordu. Böylece, yalnızca 100 yıllık bir süre içinde, Şekil 2-13 de gösterilen atom modelini elde etmiş olduk.



▲ ŞEKİL 2-13
Atom çekirdeği — helyum atomu ile gösterilmiştir
Burada elektronlar çekirdeğe gerçekte olduğundan çok daha yakın çizilmiştir. Gerçekte ise; eğer atom 5 m × 5 m × 5 m boyutlarında bir oda ise, çekirdek sadece bu yazılan cümlenin kapladığı yer kadardır.

2-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Burada verilen bilgiler ışığında, Dalton'un atom kuramındaki (sayfa 37) üç hipotezden hangisinin doğru ve hangisinin yanlış olduğunu açıklayınız.

ÇİZELGE 2.1 Üç Temel Taneciğin Özellikleri

	Elektrik Yükü		Kütlesi	
	SI (C)	Atom	SI (g)	Atom (akb)[a]
Proton	$+1{,}6022 \times 10^{-19}$	+1	$1{,}6726 \times 10^{-24}$	1,0073
Nötron	0	0	$1{,}6749 \times 10^{-24}$	1,0087
Elektron	$-1{,}6022 \times 10^{-19}$	−1	$9{,}1094 \times 10^{-28}$	0,00054858

[a]akb SI biriminde atom kütle birimidir.

▶ Proton ve nötronun kütleleri dördüncü anlamlı rakamda değişmektedir. Oysa, proton ve elektron yüklerinin, büyüklük olarak, aynı olduğuna inanılır (fakat işaretleri terstir). Yükler ve kütleler burada belirtilenden çok daha kesin bilinir. Bu kesin değerler kitabın arka kapağının iç sayfasında verilmektedir.

Proton, Nötron ve Elektronların Özellikleri

Bir atomda bulunan proton sayısına **atom numarası** ya da **proton numarası**, *Z* denir. Nötür bir atomun elektron sayısı proton sayısına, yani *Z* değerine eşittir. Atomun kütlesi ise, çekirdeğinde bulunan proton ve nötron sayısının toplamıdır. Buna **kütle numarası**, *A* denir. Atomdaki nötronların sayısına da **nötron sayısı** denir ve *A*-*Z* kadardır. Elektron, 1 atom yük birimi (akb) negatif yük, proton 1 akb pozitif yük taşır. Nötron ise yüksüzdür. Proton, nötron ve elektronun yük ve kütleleri Çizelge 2.1 de iki farklı birimle verilmiştir.

Atom kütle birimi (sayfa 46 da ayrıntılı verildi), karbon-12 (karbon on iki) kütlesinin tam 1/12 si kadardır ve akb ile gösterilir. Çizelge 2.1 den görüleceği üzere, proton ve nötronun kütleleri 1 akb den çok az da olsa fazladır. Elektronun kütlesi ise proton ya da nötron kütlesinin yaklaşık 2000 de biridir.

Bu kesimde verilen atomun üç temel taneciği kitap boyunca temel alınacaktır. Ancak atomun başka birçok atom altı taneciğinin de bulunduğunu bilmemiz gerekir. Elektronun tam bir temel tanecik olduğuna inanılmaktadır. Günümüzde modern parçacık fiziği nötron ve protonun daha temel atom altı parçacıklardan oluştuğunu varsaymaktadır.

2-4 Kimyasal Elementler

Buraya kadar atom yapısı hakkında bazı bilgiler edindik. Şimdi kimyasal element kavramı ile ilgili daha ileri bilgileri görebiliriz.

Bir elementin bütün atomları aynı atom numarasına (*Z*) sahiptir. Başka bir deyişle, proton sayıları aynı olan bütün atomlar aynı elemente aittir. Bu kitabın ön kapağının içyüzünde verilen elementlerin atom numarası $Z = 1$ den $Z = 112$ ye kadar değişmektedir. Her bir elementin bir adı ve bir simgesi vardır. Çoğu elementin **kimyasal simgesi**, İngilizce adının bir kısaltmasıdır ve bir ya da iki harf içerir. Simgenin ilk harfi (ikinci harfi değil) büyük harftir. Örneğin, karbon C, oksijen O, azot N, kükürt S, neon Ne ve silisyum Si ile belirtilir. Çok eskiden beri bilinen kimi elementlerin simgeleri Latince adlarına göre verilmiştir. Örneğin, Fe demir (*ferrum*) ve Pb kurşun (*plumbum*) bunlardandır. Sodyumun simgesi Na olup, sodyum karbonatın Latince adı olan *natrium* sözünden, potasyumun simgesi K olup, potasyum karbonatın Latince adı *kalium* sözünden gelir. Tungsten için verilen W simgesi ise Almanca *wolfram* adından gelir.

▶ Element 112 nin keşfi IUPAC tarafından yakınlarda belgelenmesine karşın, henüz adı ve simgesi verilmemiştir.

▶ Cu, Ag, Sn, Sb, Au ve Hg gibi diğer atom simgeleri İngilizce adlarının kısaltması değildir.

Uranyumdan ($Z = 92$) daha büyük atom numaralı elementler doğada bulunmazlar. Bunlar parçacık hızlandırıcılar yardımıyla elde edilen yapay elementlerdir (Bölüm 25). Çok yüksek atom numaralı elementler sadece çok az sayıda atomlar şeklinde elde edilebilirler. Bu nedenle, bir araştırma grubunun bildirdiği bir elementin gerçekten o olup olmadığı kesinleşinceye değin, tartışmalar yaşanmaktadır. Bununla birlikte, ilk 112 ele-

ment üzerinde uluslararası anlaşma gerçekleşmiştir ve Element 112 hariç, her bir elementin bir ad ve simgesi vardır.

İzotoplar

Belli bir atomun bileşimini belirtmek için, atomda bulunan proton (p), nötron (n) ve elektron (e) sayısını tam olarak göstermeliyiz. Böyle bir atomu aşağıdaki gibi simgeleriz.

$$\begin{matrix}\text{p sayısı} + \text{n sayısı} \\ \text{p sayısı}\end{matrix} \rightarrow {}^{A}_{Z}\text{E} \leftarrow \text{elementin simgesi} \qquad (2.1)$$

Burada E harfi bir atomu simgelemektedir. Atom, Z atom numarasına ve *A* kütle numarasına sahiptir. Örneğin, alüminyum atomu ${}^{27}_{13}\text{Al}$ ile gösterilir ve bu simge çekirdeğinde 13 proton ve 14 nötron, çekirdek dışında 13 elektron bulunduğunu belirtir. (Bir atomda proton ve elektron sayısının eşit olduğunu hatırlayınız.)

Dalton, bir elementin bütün atomlarının aynı kütleye sahip olacağını ileri sürmüştü. Oysa şimdi biliyoruz ki, bir elementin bütün atomları aynı kütleye sahip olmak zorunda değildir. J. J.Thomson 1912 de neon atomlarından elde ettiği pozitif iyonların kütle-yük oranlarını ölçmeyi başardı ve neon atomlarının yaklaşık % 91 inin belli bir kütlede, geriye kalanların ise % 10 daha ağır olduğunu buldu. Bütün neon atomları çekirdeklerinde 10 proton ve büyük çoğunluğu yine çekirdeklerinde 10 nötron taşırlar. Fakat bir kısım neon atomlarında 11 ve bazı neon atomlarında 12 nötron bulunur. Öyleyse, bu üç çeşit neon atomunu şöyle gösterebiliriz:

◀ Z = 10 olan tek element Ne dur ve ^{20}Ne, ^{21}Ne ve ^{22}Ne gösterimi, ${}^{20}_{10}\text{Ne}$, ${}^{21}_{10}\text{Ne}$ ve ${}^{22}_{10}\text{Ne}$ ile aynı anlama gelir.

$${}^{20}_{10}\text{Ne} \qquad {}^{21}_{10}\text{Ne} \qquad {}^{22}_{10}\text{Ne}$$

Aynı atom numarasına (Z), fakat *farklı* kütle numarasına (*A*) sahip atomlara **izotoplar** denir. Dünyadaki Ne atomlarının % 90,51 i ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ dır. ${}^{21}_{10}\text{Ne}$ ve ${}^{22}_{10}\text{Ne}$ yüzdeleri ise, sıra ile % 0,27 ve % 9,22 dir. Bu yüzdelere (%90,51, % 0,27 ve % 9,22) üç neon izotopunun **doğada bolluk yüzdesi** adı verilir. Bazen bir izotop, örneğin, neon-20 (neon yirmi) gibi elementin adı ve izotopun kütle numarası yazılarak belirtilir. Yüzde doğal bolluklar kütlelerine göre değil, *atom sayılarına* göre verilir. Buna göre her 10000 Ne atomunun 9051 tanesi neon-20 atomudur. Bazı elementler doğada tek tip atomlardan oluşmuştur ve doğal izotop içermezler.* Örneğin, alüminyum bunlardan biridir ve yalnızca alüminyum-27 atomlarından meydana gelmiştir.

◀ Tek-numaralı elementlerin, çift-numaralı elementlere göre daha az izotopları vardır. Nedeni Kesim 25-7 de açıklanacaktır.

◀ Çoğunlukla, bir elementin bütün izotopları aynı ad ve simgeyle gösterilir. Hidrojen bir istisnadır. ${}^{2}_{1}\text{H}$ izotopu döteryum (simgesi D), ${}^{3}_{1}\text{H}$ izotopu trityumdur (T).

İyonlar

Örneğin kimyasal tepkimeler sonucunda elektron veren ya da elektron alan atomlar, **iyon** adını alır ve net bir yük taşırlar. Elektronlar negatif yük taşıdığından, nötür bir atom elektron aldığında negatif yüklü iyon haline gelir. Elektron uzaklaştırılması sonucunda ise pozitif yüklü iyon oluştururlar. İyon haline gelen atomun proton sayısı kesinlikle değişmez. Örneğin $^{20}\text{Ne}^{+}$ ve $^{22}\text{Ne}^{2+}$ iyondurlar. Bunlardan birincisi 10 proton 10 nötron ve 9 elektron taşır. İkincisi ise 10 proton 12 nötron ve *8* elektron içerir. Bir iyonun üzerindeki yük proton ile elektron sayılarının *farkına* eşittir. Yani,

$$\begin{matrix}\text{p sayısı} + \text{n sayısı} \\ \text{p sayısı}\end{matrix} \rightarrow {}^{A}_{Z}\text{E}^{\#\pm} \leftarrow \text{p sayısı} - \text{e sayısı} \qquad (2.2)$$

◀ #± işaretinin anlamı, yükün + ve – işaretinden önce bir rakam (#) yazılır demektir. Ancak, yük 1+ ve 1– olduğu zaman, 1 rakamı yazılmaz.

Bir başka örnek olarak $^{16}\text{O}^{2-}$ iyonu verilebilir. Bu iyonda 8 proton (atom numarası 8), 8 nötron (kütle numarası—atom numarası), ve *10* elektron (8 – 10= –2) vardır.

*Nüklit terimi belirli bir atom ve kütle numarasına sahip atomları belirtmek amacıyla kullanılır. Doğada tek bir nüklite sahip çeşitli elementler varsa da bu elementlerden yapay yollarla nüklitler (izotoplar) oluşturmak mümkündür (Kesim 25-3). Ancak bu yapay izotoplar radyoaktiftirler. Yapay izotopların sayısı doğal olarak bulunan izotopların sayısını birkaç kat aşmaktadır.

ÖRNEK 2-3 Atom ve İyonlarda Proton, Nötron ve Elektron Sayılarının İlişkisi

(a) Baryum-135 atomundaki, **(b)** iki negatif yüklü selenyum-80 iyonundaki, proton, nötron ve elektronları, element simgeleri ile belirtiniz.

Analiz

Adı verilen bir elementin atom numarası ve simgesini periyodik çizelgeden ya da elementleri içeren bir listeden bulabiliriz. Proton, nötron ve elektron sayılarını bulmak için, aşağıda verilen bağıntıları kullanırız.

Z = p sayısı $\qquad A$ = p sayısı + n sayısı $\qquad$ yük = p sayısı – e sayısı

Yukarıdaki bağıntılar, açıklama (2.2) de özetlenmektedir.

Çözüm

(a) Atomun adı (baryum) ve kütle numarası (135) verilmektedir. Elementleri içeren bir listeden ya da periyodik çizelgeden atom simgesi (Ba) ve atom numarası (Z= 56) bulunur ve simgesi şu şekilde yazılır,

$$^{135}_{56}\mathrm{Ba}$$

Bu simgeden nötür atomun, 56 protonu, $A - Z = 135 - 56 = 79$ nötronu ve elektron sayısı Z ye eşit olduğundan 56 elektronu vardır.

(b) Atomun adı (selenyum) ve iyonun kütle numarası (80) verilmektedir. Elementleri içeren bir listeden ya da periyodik çizelgeden simgesi (Se) ve atom numarası(34) bulunur. İyonun 2- yük taşıdığı bilindiğine göre, simgesi şu şekilde yazılır,

$$^{80}_{34}\mathrm{Se}^{2-}$$

Bu simgeden, iyonun 34 protonu, $A - Z = 80 - 34 = 46$ nötronu ve 36 elektronu ($+34 - 36 = -2$ net yüke sahip) olduğu sonucuna varılır.

Değerlendirme

Belirli bir atom veya iyonun simgesini yazarken, genellikle atom numarasını yazmayız. Örneğin, $^{135}_{56}\mathrm{Ba}$ ve $^{80}_{34}\mathrm{Se}^{2}$ için, çoğu kez daha basit gösterim olan $^{135}\mathrm{Ba}$ ve $^{80}\mathrm{Se}^{2-}$ yazarız.

ALIŞTIRMALAR A: Nötron sayısı 62 olan gümüş izotopunu, $^{A}_{Z}\mathrm{E}$ şeklinde simgeleyiniz.

ALIŞTIRMALAR B: Kadmiyum-112 izotopu ile aynı elektron sayısına sahip kalay iyonunu, $^{A}_{Z}\mathrm{E}$ şeklinde simgeleyiniz. Neden birden fazla cevap olabileceğini açıklayınız.

2-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

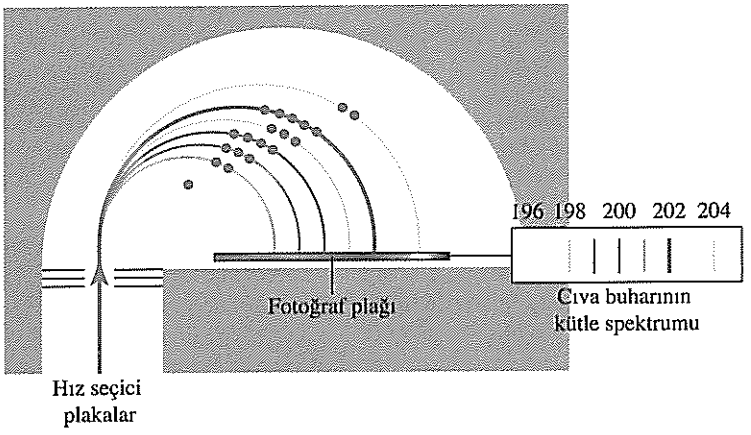
Bütün atomlar proton, nötron ve elektronlardan oluşur ifadesine uymayan tek istisna nedir?

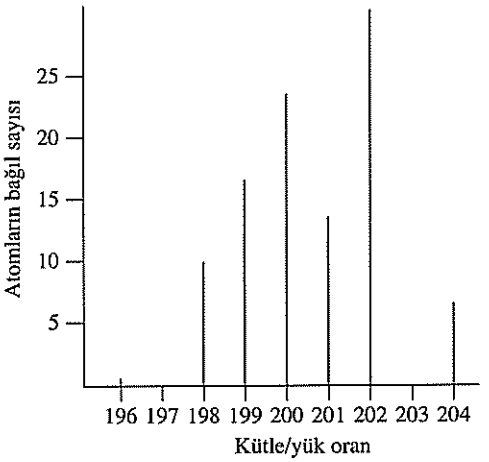
İzotop Kütleleri

Tek bir atomun kütlesini, yalnızca temel taneciklerinin kütlelerini toplayarak bulamayız. Bir atom çekirdeği, proton ve nötronlardan oluşurken, kütlenin küçük bir miktarı enerjiye dönüşerek salınır. Bu enerji proton ve nötronları bir arada tutan çekirdek bağlanma enerjisidir ve miktarını önceden tam olarak bilemeyiz. Öyleyse, tek bir atomun kütlesini belirleyebilmek için aşağıdakine benzer bir deney yapmalıyız: Uluslar arası anlaşma ile belli bir kütleye sahip bir atom seçilir ve standart kabul edilir. Genel kabul gören bu standart atom karbon-12 izotopu olup kütlesi tam 12 akb dir. Diğer element atomlarının kütleleri bu standarda göre tayin edilir. Bu iş için **kütle spektrometresi** kullanılır. Gaz halindeki bir iyon demeti bu düzenekten geçerken, elektrik ve manyetik alanlar yardımıyla ayrılırlar. Ayrılan iyonlar bir ölçü cihazına(kütle spektrometresi) gönderilir.

▶ Normalde, aynı yükle yüklü taneciklerin (örneğin, protonların) birbirini itmesini bekleriz. Oysa protonlar ve nötronlar çekirdek içinde birbirlerine büyük bir kuvvetle bağlıdırlar. Bu kuvvet, bildiğimiz elektriksel kuvvetten çok daha büyüktür (Kesim 25-6).

▶ Bu tanım, bir atom kütle biriminin (1 akb) karbon-12 kütlesinin *tam* 1/12 si olduğunu belirtir.





▲ ŞEKİL 2-14
Kütle spektrometresi ve kütle spektrumu
Cihazın alt tarafında (şekilde görünmüyor) gaz örnek, elektron bombardımanı ile iyon haline getirilir. Oluşan pozitif iyonlar, şekilde görülen hız seçici plakalar ve sayfaya dik olan manyetik alan içine gönderilir. Yalnız belli hızlardaki iyonlar buradan geçer ve manyetik alan tarafından dairesel yollar alacak şekilde saptırılır. Farklı kütlelerdeki iyonlar sayacın (burada fotoğraf plağı) farklı bölgelerine çarparlar. Belli kütlede bir iyon ne kadar çoksa, onun fotoğraf plağındaki çizgisinin şiddeti artar. Cıva için verilen kütle spektrumunda, iyon sayacına gelen iyonların miktarı bağıl atom sayısı eşeline geçirilmiştir. Civa izotoplarının doğada bulunma yüzdeleri, ^{196}Hg %0,146; ^{198}Hg %10,02; ^{199}Hg %16,840 ^{200}Hg %23,13; ^{201}Hg 13,22; ^{202}Hg %29,80 ve ^{204}Hg %6,85'tir.

◀ Atom kütlesi için temel standart defalarca değişmiştir. Örneğin, Dalton, H kütlesini 1 akb diye önermiş, sonra kimyacılar atom ağırlık eşelini tanımlamak için oksijen-16 almış, aynı zamanda fizikçiler de oksijen-16 izotopunu 16 akb olarak tanımlamıştır. Tabii ki, bu durum değerlerde kargaşaya neden olmuştur. Nihayet, sorun,1971'de uluslararası standart olarak karbon-12 kabul edilerek çözülmüştür.

Ölçü cihazı bu iyonların varlığını ve miktarını saptar. Şekil 2-14 de kütle spektrometresi ve tipik bir kütle spektrumu görülmektedir.

Kütle numaralarının tam sayılar olmalarına karşın, karbon-12 dışındaki atomların kütleleri tamsayı değildir. Örneğin, oksijen-16 nın kütlesi 16 akb değil, ona çok yakın bir sayıdır. Kütle spektrumu verilerinden, ^{16}O nın ^{12}C ye kütle oranı 1,33291 olarak bulunmaktadır. Buradan ^{16}O nın kütlesi, 16 ya çok yakın bir sayıdır.

$$1{,}33291 \times 12 \text{ akb} = 15{,}9949 \text{ akb}$$

ÖRNEK 2-4 İzotop Kütlelerinin Kütle Spektrometresiyle Saptanması

Kütle spektrumu verileri ile oksijen-16 nın kütlesi, azot-15 atom kütlesinin 1,06632 katı olarak bulunmuştur. ^{16}O kütlesi 15,9949 akb dir. Azot-15 atomunun kütlesini akb birimi cinsinden bulunuz?

Analiz

Kütle oranı (^{16}O kütlesi/^{15}N kütlesi) = 1,06632 ve ^{16}O kütlesi 15,9949 akb olarak verilmektedir. ^{15}N kütlesini buluruz.

Çözüm

Biliyoruz ki,

$$\frac{^{16}\text{O kütlesi}}{^{15}\text{N kütlesi}} = 1{,}06632$$

(devam ediyor)

Yukarıdaki oranda ^{16}O kütlesini yerine 15,9949 akb değerini yazarsak, ^{15}N kütlesini buluruz.

$$^{15}\text{N kütlesi} = \frac{^{16}\text{O kütlesi}}{1{,}06632} = \frac{15{,}9949\ \text{u}}{1{,}06632} = 15{,}0001\ \text{akb}$$

Değerlendirme

^{15}N kütlesi, beklediğimiz gibi 15 e yakın bir sayıdır. Eğer, yanlışlıkla, 1,06632 ye bölme yerine çarpma yapsaydık, şüphesiz ki, yanlış olarak, 16 dan biraz büyük bir değere ulaşılırdı.

ALIŞTIRMALAR A: ^{202}Hg nın izotop kütlesi 201,97062 akb ise, $^{202}Hg/^{12}C$ kütle oranı nedir?

ALIŞTIRMALAR B: Kütle numarası 158 ve atom numarası 64 olan bir izotopun karbon-12 ye kütle oranı 13,16034 dür. Bu izotop hangi elementindir? Atomun akb birimi cinsinden kütlesi ve oksijen-16 ya kütle oranı nedir?

▶ Karbon-14 atmosferin üst seviyelerinde oluşur ve radyokarbon yaş tayininde kullanılır. Yeryüzündeki karbon-14 izotopu karbonun atom kütlesini etkileyemeyecek kadar azdır.

2-5 Atom Kütlesi

Atom kütleleri için *tam* 12 standart alındığı halde, atom kütlelerini gösteren çizelgede karbonun atom kütlesi 12,011 olarak verilmektedir. Bu fark nereden kaynaklanır? Standart olarak alınan karbon atomları yalnızca karbon-12 atomlarıdır. Oysa doğal karbonda ayrıca karbon –13 de bulunur. Bu iki izotopun varlığı gözlenen atom kütlesinin 12 den büyük olmasını sağlar. Bir elementin **atom kütlesi (ağırlığı)***, izotopların doğada bulunma oranlarına göre, *ağırlıklı* atom kütlelerinin ortalamasıdır. Doğada bulunma yüzdelerine göre ağırlıklı ortalama alınması çok önemlidir. Karbon -12 doğada karbon-13 e göre daha bol bulunduğundan, ağırlıklı atom kütlesi, 12 ye daha yakın olmalıdır. Ağırlıklı atom kütlesi aşağıdaki genel eşitlikle hesaplanır. Eşitliğin sağındaki her bir parantez elemente ait bir doğal izotopu göstermektedir.

UNUTMAYINIZ

Bolluk kesri izotopun yüzde bolluğunun 100 e bölümüdür. Böylece, %98,93 lük bolluk 0,9893 bolluktur.

$$\begin{matrix}\text{elementin}\\ \text{atom}\\ \text{kütlesi}\end{matrix} = \begin{pmatrix}\text{izotop 1 in}\\ \text{bolluk}\\ \text{kesri}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{izotop}\\ \text{1 in}\\ \text{kütlesi}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{izotop}\\ \text{2 in bolluk}\\ \text{kesri}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{izotop}\\ \text{2 in}\\ \text{kütlesi}\end{pmatrix} + \ldots \quad (2,3)$$

(2.3) eşitliğinin sağındaki ilk terim izotop 1 in katkısını, ikinci terim izotop 2 nin katkısını göstermektedir ve böyle devam edilebilir.

Örnek 2-6 da, uygun verilerle (2.3) eşitliğini kullanacağız. Bu örneğe geçmeden önce, doğal karbonun atom kütlesinin saptanmasında farklı bir yol üzerinden ağırlık ortalaması ve bolluk kesri kavramları ile ilgili açıklama yapalım. Karbonun kütle spektrumu, karbon atomlarının %98,93 nün tam 12 akb lik kütle ile karbon-12 olduğunu; geri kalan yüzdenin ise, 13,0033548378 akb lik bir kütle ile karbon-13 olduğunu göstermiştir. Bu yüzden:

$$\begin{aligned}\text{doğal karbonun atom kütlesi} &= 0{,}9893 \times 12\ \text{akb} + (1 - 0{,}9893) \times 13{,}0033548378\ \text{akb}\\ &= 13{,}0033548378\ \text{akb} - 0{,}9893 \times (13{,}0033548378\ \text{akb} - 12\ \text{akb})\\ &= 13{,}0033548378\ \text{akb} - 0{,}9893 \times (1{,}0033548378\ \text{akb})\\ &= 13{,}0033548378\ \text{akb} - 0{,}9893\\ &= 12{,}0107\ \text{akb}\end{aligned}$$

*Burada belirttiğimiz atom kütlelerine Dalton zamanından bu yana "atom ağırlığı" deniyordu. Günümüzde de birçok kimyacı atom ağırlığı terimini kullanmaktadır. Ancak burada önerilen "atom kütlesi" terimidir, atom ağırlığı değil. Eski alışkanlıklar zor terk edilir!

Yukarıdaki düzenlemede, 12 akb ve çarpanda (1 – 0,9893) görünen "1" in tam sayılar olduğuna dikkat ediniz. Nitekim anlamlı sayılar kuralına göre (Bölüm 1), karbonun atom kütlesi dört ondalıkla verilebilir.

Doğada üç izotopu bulunan potasyum gibi bir elementin atom kütlesini hesaplarken her üç izotopun da ağırlığa katkılarını bulup, toplamalıyız. Daha çok izotoplu elementler için de benzer işlemler yapılmalıdır.

Elementlerin doğadaki bolluk yüzdeleri örnekten örneğe pek değişmez. Örneğin ^{12}C ve ^{13}C oranları saf karbonda (elmas), karbon dioksit gazında ya da bir kalsiyum karbonat minerali olan kalsitte hep aynıdır. Bu nedenle, hangi kaynaktan gelirse gelsin, bir karbon atomunun kütlesini 12,0107 akb kabul ederiz. Yani, hesaplarımızda, doğada bulunma oranlarına göre hesaplanmış ve listeler halinde verilmiş atom kütlelerini kullanabiliriz.

İzotop kütleleri, doğada bolluk yüzdeleri ve ağırlıklı ortalama atom kütleleri arasındaki ilişkiyi hesap yapmadan kavramak da önemlidir. Örnek 2-5 böyle bir ilişkiyi vermektedir. Ayrıca, Örnek 2-6 ve takip eden Alıştırmalar, eşitlik 2.3 ün ilave uygulamalarını içermektedir.

Atom kütlelerinin verildiği çizelgede (iç kapak), bazı atom kütleleri diğerlerine göre daha hassas olarak verilmiştir. Örneğin, F un atom kütlesi 18,9984 akb iken, Kr un 83,798 akb dir. Aslında, florun atom kütlesi daha da hassas bilinir (18,9984032 akb); 18,9984 akb değeri altı anlamlı rakama yuvarlanmıştır. Niçin F un atom kütlesi, Kr dan daha hassas verilmektedir? Doğada sadece flor-19 bulunmaktadır. Bu nedenle, F un atom kütlesinde olduğu gibi, bu tip atom kütleleri mümkün olduğu kadar hassas verilir. Oysa kripton altı doğal izotopa sahiptir ve kütlesi daha az hassasiyet-

ÖRNEK 2-5 Ağırlıklı Ortalama Atom Kütlesinin Anlamını Kavrama

Lityumun doğada bulunan izotopları lityum-6 ve lityum-7 dir. Kütleleri sıra ile 6,01512 ve 7,01600 akb dir. Bu iki izotoptan hangisinin doğadaki bolluğu daha fazladır?

Analiz

Atom kütlelerinin verildiği çizelgede bulacağınız lityumun atom kütlesi ile ^{6}Li ve ^{7}Li kütlelerini karşılaştırın. Eğer, Li atom kütlesi ^{6}Li ya daha yakınsa, ^{6}Li daha fazla izotop bolluğuna sahiptir. Eğer, Li atom kütlesi ^{7}Li ye yakınsa, ^{7}Li un izotop bolluğu daha fazladır.

Çözüm

Atom kütleleri çizelgesinde (ön kapağın iç kısmında) lityumun atom kütlesi 6,941 akb verilmektedir. Bu ortalama atom kütlesidir. Bu değer 7,01601 e 6,01513 den daha yakın olduğundan lityum -7 izotopunun bolluğu daha fazladır.

Değerlendirme

Özel izotopların atom kütleleri çok hassas olarak saptanabilir. ^{6}Li ve ^{7}Li için yukarıda verilen değerler beş ondalık basamağa yuvarlanmıştır, oysa tam değerleri 6,015122795 akb ve 7,01600455 akb dir.

ALIŞTIRMA A: Borun iki doğal izotopu, bor–10 ve bor–11 dir. Kütleleri sırasıyla 10,0129370 ve 11,0093054 akb dir. Bunlardan hangisi daha fazla doğal bolluğa sahiptir.

ALIŞTIRMA B: İndiyum,114,818 akb ağırlıklı ortalama atom kütlesine ve iki doğal izotopa sahiptir. İzotoplardan birinin kütlesi 112,904058 akb dir. ^{111}In, ^{112}In, ^{114}In ve ^{115}In izotoplarından hangisi ikinci izotop olmalıdır? Doğal izotoplardan hangi ikisi daha fazla doğal bolluğa sahiptir?

ÖRNEK 2-6 Bir Elementin Atom Kütlesi ile İzotoplarının Doğal Bolluğu ve Kütleleri Arasındaki İlişki

Brom iki doğal izotopa sahiptir. Onlardan birisi, kütlesi 78,9183 akb ve %50,69 bolluğa sahip brom-79 dur. Brom-81 olan diğer izotopun kütlesi ve yüzde doğal bolluğu ne olmalıdır?

Analiz

Bromun atom kütlesi tam olarak verilmese de değeri bilinmektedir. Ön kapağın iç sayfasındaki listeden Br un atom kütlesini 79,904 akb olarak buluruz. Burada iki kavramı kullanmamız gerekmektedir: (1) Br un atom kütlesi, ^{79}Br ve ^{81}Br un ağırlıklı ortalama kütlesidir ve (2) ^{79}Br ve ^{81}Br un yüzde doğal bolluk toplam 100 olmalıdır.

Çözüm

Br un atom kütlesi, ^{79}Br ve ^{81}Br un ağırlıklı ortalama kütlesidir;

$$\text{atom kütlesi} = \begin{pmatrix} ^{79}\text{Br atom} \\ \text{kesri} \times \\ ^{79}\text{Br kütlesi} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} ^{81}\text{Br atom} \\ \text{kesri} \times \\ ^{81}\text{Br kütlesi} \end{pmatrix}$$

Yüzde doğal bolluğun toplamı %100 olduğundan, ^{81}Br yüzde doğal bolluğu, %100 − %50,69= % 49,31 dir. Yukarıdaki eşitliğe, atom kütlesi yerine 79,904 akb, ^{79}Br kütlesi yerine 78,9183 akb ve her iki izotopun bolluk kesri değerleri de konulduğunda, ^{81}Br kütlesi elde edilir.

$$\begin{aligned} 79{,}904\ \text{akb} &= (0{,}5069 \times 78{,}9183\ \text{akb}) + (0{,}4931 \times {}^{81}\text{Br kütlesi}) \\ &= 40{,}00\ \text{akb} + (0{,}4931 \times {}^{81}\text{Br kütlesi}) \\ {}^{81}\text{Br kütlesi} &= \frac{79{,}904\ \text{akb} - 40{,}00\ \text{akb}}{0{,}4931} = 80{,}92\ \text{akb} \end{aligned}$$

^{81}Br izotopunun, dört anlamlı rakam ile doğal bolluğu %49,31 ve kütlesi 80,92 akb'dir.

Değerlendirme

Sonucu, probleme tersinden başlayarak ve sayıları yuvarlayarak kontrol edebiliriz. Br nin atom kütlesi %50,69 × 78,92 akb + %49,31 × 80,92 akb ≈ 1/2 (79 akb + 81 akb) = 80 akb dir. Tahmini atom kütlesi (80 akb), gerçek atom kütlesine (79,904 akb) yakındır.

ALIŞTIRMA A: Silisyumun üç doğal izotopunun yüzde doğal bolluğu ve kütleleri, ^{28}Si , 27,9769265325 akb, %92,223; ^{29}Si, 28,976494700 akb, %4,685; ^{30}Si, 29,973377017 akb, %3,092 dir. Silisyumun ağırlıklı ortalama atom kütlesi nedir?

ALIŞTIRMA B: Örnek 2-5 deki verileri kullanarak, lityum-6 ve lityum-7 nin yüzde doğal bolluğunu bulunuz.

te verilir. Çünkü kriptonun yüzde izotop dağılımı, örnekten örneğe çok az da olsa değişmektedir; yani kriptonun ağırlıklı ortalama atom kütlesi yüksek duyarlılıkta belirlenemez.

2-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Kapak sayfasının içindeki listede kromun atom kütlesi 51,9961 akb dir. Bu bilgiden yararlanarak, kromun doğada bulunan izotoplarının hepsinin $^{52}_{24}$Cr olduğu sonucuna varabilir miyiz? Aynı listede, çinkonun atom kütlesi 65,409 akb dir. Çinkonun bir izotop karışımı olduğu sonucuna varabilir miyiz? Açıklayınız.

2-6 Periyodik Çizelgeye Giriş

Bilim adamları bilgileri amaca uygun bir şekilde sınıflandırmak için çok zaman harcarlar. Ancak, bunun için ellerinde öncelikle doğru bilgilerin bulunması gerekir. Örneğin, botanikçiler on sekizinci yüzyılda bitkileri sınıflandıracak kadar yeterli bilgiye sahiptiler. Oysa kimyacılar, elementleri sınıflandırmak için, atom kütlelerindeki belirsizlikler ve henüz bazı elementlerin keşfedilmemiş olmasından dolayı yüz yıl daha beklemek zorunda kaldılar.

Biz bir elementi, bütün diğer elementlerden, gözlenebilen belirli fiziksel özellikleriyle ayırt edebiliriz. Örneğin, sodyum 0,971 g/cm^3 yoğunluğa ve 97,81°C erime noktasına sahiptir. Diğer hiç bir element bu özelliklerin her ikisine birden sahip değildir. Potasyumun yoğunluğu, 0,862 g/cm^3, erime noktası ise 63,65 °C dir. Sodyum ve potasyum metalleri düşük yoğunluk ve erime noktasına sahiptirler. Her ikisi de ısı ve elektriği iyi iletmeleri ve su ile şiddetle tepkimeye girip hidrojen gazı çıkarmaları açısından birbirlerine benzerler. Diğer yandan, altının yoğunluğu 19,32 g/cm^3 ve erime noktası 1064 °C dir. Bu değerler sodyum ve potasyumdan çok yüksektir ve altın su ile ya da sıradan asitlerle bile tepkime vermez. Buna karşılık, ısı ve elektriği iletme açısından sodyum ve potasyuma benzer. Klor elementi ise sodyum, potasyum ve altından çok farklıdır. Normal koşullarda gazdır. Yani, katı klorun erime noktası oda sıcaklığının çok altındadır (–101°C). Ayrıca ısı ve elektriği iletmez.

Bu sınırlı verilerle bile, yararlı olabilecek bir sınıflandırma çizelgesi yapabiliriz. Eğer tasarlanan çizelge, elementleri benzer özelliklerine göre gruplandırılarak yapılacaksa, sodyum ve potasyum aynı grupta olmalıdır. Isı ve elektriği iletmelerine göre yapılırsa klorun sodyum, potasyum ve altından ayrı tutulması gerekir. Aradığımız sınıflandırma şeması Şekil 2-15 de (ve ön kapağın iç tarafında) verilmiş olup, elde edilen bu şemaya

1 1A	2 2A	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8	9 8B	10	11 1B	12 2B	13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
1 H 1.00794																	2 He 4.00260
3 Li 6.941	4 Be 9.01218											5 B 10.811	6 C 12.0107	7 N 14.0067	8 O 15.9994	9 F 18.9984	10 Ne 20.1797
11 Na 22.9898	12 Mg 24.3050											13 Al 26.9815	14 Si 28.0855	15 P 30.9738	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Sc 44.9559	22 Ti 47.867	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.9380	26 Fe 55.845	27 Co 58.9332	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.409	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.9216	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798
37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.9059	40 Zr 91.224	41 Nb 92.9064	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.906	46 Pd 106.42	47 Ag 107.868	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.760	52 Te 127.60	53 I 126.904	54 Xe 131.293
55 Cs 132.905	56 Ba 137.327	57–71 La–Lu	72 Hf 178.49	73 Ta 180.948	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	78 Pt 195.084	79 Au 196.967	80 Hg 200.59	81 Tl 204.383	82 Pb 207.2	83 Bi 208.980	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89–103 Ac–Lr	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (277)	109 Mt (268)	110 Ds (271)	111 Rg (272)							

*Lantanit serisi	57 La 138.905	58 Ce 140.116	59 Pr 140.908	60 Nd 144.242	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.925	66 Dy 162.500	67 Ho 164.930	68 Er 167.259	69 Tm 168.934	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967
†Aktinit serisi	89 Ac (227)	90 Th 232.038	91 Pa 231.036	92 U 238.029	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)

▲ ŞEKİL 2-15
Elementlerin periyodik çizelgesi
Atom kütleleri karbon-12 ye göredir. Bazı radyoaktif elementlerin parantez içerisinde verilen sayıları en kararlı izotoplarının kütle numaralarıdır. Metaller turuncu, ametaller mavi, yarı metaller yeşille gösterilmiştir. Asal gazlar (bunlar da ametaldirler) pembeyle gösterilmiştir.

UNUTMAYINIZ

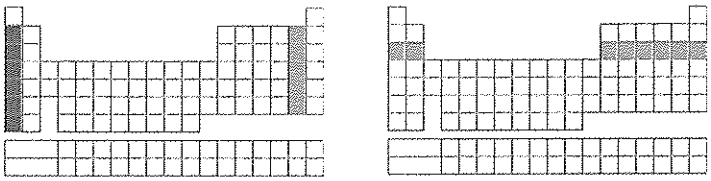
Şekil 2-15 de verilen periyodik çizelge, henüz adlandırılmayan element-112 nin keşfinden sonra, IUPAC (Mayıs 2009) tarafından onaylanan ve günümüzde kullandığımız çizelgedir. Atom numarası 112 den büyük olan başka elementler de rapor edilmiş olmakla birlikte, bunlar resmi olarak belgelendirilmemiştir. Şekil 2-15 de, lutesyum (Lu) ve lavrensiyum(Lr), sırasıyla, lantanit ve aktinit serilerinin son üyeleridir. Oysa lantanit serisinin iterbiyum (Yb) ve aktinit serisinin de nobelyum (Nb) ile sonlanacağına dair güçlü bir sav* öne sürülmüştür. Fakat bugüne kadar, IUPAC grup 3 e yerleştirilen Lu ve Lr elementlerini henüz onaylamamıştır.

* Bakınız W.B. Jensen, *J.Chem. Educ.*, **59**, 634 (1982)

periyodik çizelge denmektedir. Bölüm 9 da, periyodik çizelgenin hangi kuramsal temellere göre ve nasıl düzenlediğini göreceğiz. Şimdilik çizelgenin yalnızca bir kaç özelliğinden söz edelim.

▶ Bir gruptaki elementlerin benzer özellik göstermeleri, atom özelliklerini tanımlamada çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bir grup içinde önemli farklılıklar da ortaya çıkar. Bu tür farklılıkların türü ve nedenleri üzerinde yapılan çalışmalar kimyaya büyük katkı sağlamaktadır.

Periyodik Çizelgenin Özellikleri Periyodik çizelgede elementler, sol üst köşeden başlanarak, atom numaralarının artışına göre yatay olarak sıralanmışlardır. Bu düzenlemede benzer elementler *dikey* **gruplarda** ya da **sınıflarda** yer alırlar. Örneğin, sodyum ve potasyum I. grupta yer alır (ve *alkali metaller* olarak adlandırılırlar). Grupta bulunan diğer elementlerin, örneğin, sezyumun ve rubidyumun, sodyum ve potasyum ile benzer özellikler göstermesini beklemeliyiz. Klor elementi çizelgenin diğer ucunda, grup 17 de yer almaktadır. Gruplardan bazıları, grup elementlerinin önemli bir özelliğinden dolayı, özel olarak adlandırılırlar. Örneğin, 17. grup elementleri *halojenler* diye bilinirler. Halojenin Yunanca anlamı "tuz yapandır".



Grup 1 : Alkali metaller
Grup 17 : Halojenler
Periyot 3

Her bir element çizelgedeki kutuların ortasına simgeleri yazılarak sıralanır. Elementin atom numarası (Z) bu simgenin üstünde gösterilir ve ağırlıklı ortalama atom kütlesi simgenin altında yer alır. Bazı periyodik çizelgeler yoğunluk, erime noktası gibi diğer bilgileri de verirler; ancak atom numarası ve kütlesi bizim genel amaçlarımız için yeterlidir. Plütonyum, Pu (244), gibi atom kütleleri parantez içerisinde verilen elementler sentetik olarak elde edilirler. Buradaki kütle numarası en kararlı izotopunun kütle numarasıdır.

Elementler genel olarak **metaller** ve **ametaller** diye iki büyük sınıfa ayrılırlar. Bunlar Şekil 2-15 de renklerle ayrılmış olup metaller turuncu, ametaller ise mavi ve pembe renklerle gösterilmiştir. Metaller oda sıcaklığında, cıva hariç (bu sıvıdır) katıdır. Metallere genel olarak şekil verilebilir, ince ve yassı plakalar haline getirilebilir, tel halinde çekilebilir. Isı ve elektriği iyi ileten, parlak görünüşe sahip elementlerdir. Ametaller ise genel olarak metallerin tam tersi özelliğe sahiptirler. Örneğin, ametallerin ısı ve elektrik iletkenlikleri zayıftır. Azot, oksijen ve klor gibi bazı ametaller oda sıcaklığında gaz halindeyken, silisyum ve kükürt gibi bazı ametaller kırılgan katı haldedirler. Yine bir ametal olan brom ise sıvıdır. Daha sonra bu kitapta metaller ve ametaller hakkında geniş bilgi verilecektir.

Şekil 2-15 de ametallerin bir diğer özel grubu olan **soygazlar** (pembe renkli) ve hem metal hem de ametal özelliği gösteren ve **yarı-metal** (yeşil renkli) olarak adlandırılan küçük bir element grubu görülmektedir.

▶ Periyodik çizelgedeki hangi elementlerin yarı-metal olarak işaretleneceği hakkında tam bir uzlaşma olmasa da, genellikle çizelgedeki basamaklı çizgiye komşu ya da o çizgiye yakın elementler yarımetaller olarak ele alınırlar.

Çizelgedeki *yatay* sıralar **periyot** olarak adlandırılır. (Periyot sayıları kitabın kapak sayfasının arkasında numaralandırılarak verilmiştir.) Çizelgedeki ilk periyot, hidrojen ve helyum olmak üzere 2 element içerir. Bunu lityumdan neona, sodyumdan argona uzanan ve her biri 8 element içeren iki periyot izler. Dördüncü periyot potasyumdan kriptona, beşinci periyot rubidyumdan ksenona uzanan ve her biri 18 element içeren periyotlardır. Beşinci periyot 32 üyeli uzun bir periyottur. En fazla 18 element alacak şekilde düzenlenen bu çizelgeye 32 elementi yerleştirmek için bu periyotun 14 üyesi çizelgenin altına konmuştur. 14 element içeren bu seri, lantan (Z = 57) elementini izlediğinden **lantanitler** diye adlandırılmaktadır. Yedinci ve son periyot henüz tamamlanmamıştır (bazıları henüz keşfedil-

memiştir), fakat uzun olduğu bilinmektedir. Yedinci periyottan da 14 element alınarak çizelgenin altına konmuştur. Bu serideki elementler aktinyumu (Z = 89) izlediğinden **aktinitler** diye adlandırılırlar.

Grupların numaralanması kimyacılar arasında biraz tartışmalı bir konudur. Bir önceki paragrafta kullanılan numaralama sistemi en son benimsenen şeklidir. Amerika Birleşik Devletlerinde daha önce kullanılan ve bir rakam ile harften oluşan gruplandırma gösterimi, periyodik çizelgenin ilk düzenleyicisi Mendeleev'in benimsediği sisteme yakındır. Şekil 2-15 de görüldüğü gibi, 1 ve 2 ile verilen A grupları, geri kalan A gruplarından (3A den 8A ya), B gruplarınca (1B den 8B ye) ayrılmıştır. Uluslararası Kimya ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) Amerika'nın sayı ve harften oluşan grup gösterimi ile Avrupa'da kullanılan sistem arasındaki karışıklığı önlemek için 1–18 numaralandırma sistemini önermektedir. Halen IUPAC sistemi Amerikan Kimya Topluluğu (ACS) ve diğer ulusların kimya toplulukları tarafından resmen önerilmektedir. Her iki numaralandırma sistemi halen kullanıldığından, Şekil 2-15 de ve kapak arka sayfasındaki çizelgede bunların her ikisi de verilmiştir. Biz bu kitapta eski sistemi ara sıra hatırlatmanın dışında IUPAC numaralandırma sistemini kullanacağız.

◀ İlk periyodik çizelgede elementlerin Mendeleev tarafından yapılan düzenlemesi, elementlerde ve oluşturdukları bileşiklerde gözlenen fiziksel ve kimyasal özelliklere dayanıyordu. Modern periyodik çizelgedeki elementlerin düzenlenmesi ise atom numarası ve elektron dizilişine dayanmaktadır.

Periyodik Çizelgenin Yararları

Periyodik çizelge kimyacılara, kimyasal bileşiklerin ve kimyasal tepkime ürünlerinin özelliklerini açıklamada yardımcı olur. Bu kitap boyunca periyodik çizelgeyi kimyasal kavramları anlamada bir yardımcı olarak kullanacağız. Burada, basit tek atomlu iyonların yüklerini öngörmekte, periyodik çizelgenin nasıl kullanıldığını göreceğiz.

Baş grup elementleri, grup 1, 2 ve 13-18 de bulunan elementlerdir. Grup 1 ve 2 deki baş grup metal atomları iyonları oluşturduğunda IUPAC grup numarası kadar elektron kaybederler. Buna göre Na atomları (grup 1) Na^+ olurken bir elektron, Ca atomları (grup 2) Ca^{2+} olurken iki elektron

ÖRNEK 2-7 Periyodik Çizelgeye Dayalı İlişkilerin Açıklanması

Ön kapağın arkasındaki periyodik çizelgeye başvurarak aşağıdakileri belirtiniz.
(a) dördüncü periyotta, grup 14 de bulunan element;
(b) molibden ile benzer özelliğe sahip iki element;
(c) stronsiyum atomundan oluşması beklenen iyon.

Analiz

(a) için, anahtar yaklaşım, periyodik çizelgeye yukarıdan başlandığında, periyotların 1 den 7 ye kadar sıralandığı ve periyodik çizelgeye soldan başlandığında ise, grupların 1 den 18 e kadar numaralandığıdır. (b) için, anahtar yaklaşım, aynı gruptaki elementlerin benzer özellikler gösterdiğidir. (c) için, anahtar yaklaşım, grup 1 ve 2 deki baş grup metal atomlarının, sırasıyla, +1 ve +2 yükleri ile pozitif iyonlar oluşturduğudur.

Solve

(a) Dördüncü periyottaki elementler K (Z = 19) dan Kr (Z = 36) ya uzanmaktadır. Grup 14 deki elementler C, Si, Ge, Sn ve Pb dur. Bu grup ve periyodun belirttiği tek element Ge (Z = 32) dur.
(b) Molibden grup 6 dadır. Molibden ile benzer özelliğe sahip bu grubun diğer iki üyesi krom (Cr) ve tungsten (W) dir.
(c) Stronsiyum (Sr) grup 2 elementidir ve Sr^{2+} iyonunu oluşturur.

Değerlendirme

Bölüm 8 de periyodik çizelgenin düzenlenmesindeki temel özellikleri ayrıntıları ile inceleyeceğiz.

ALIŞTIRMA A: Aşağıda verilen her bir atomun oluşturabileceği iyonları yazınız: Li, S, Ra, F, I ve Al.

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki her bir elementin baş grup ya da geçiş elementi olup olmadığını belirtiniz. Ayrıca, metal, yarı-metal ya da ametal olup olmadığını söyleyiniz; Na, Re, S, I, Kr, Mg, U, Si, B, Al, As, H.

kaybeder. Grup 13 deki alüminyum, Al^{3+} (burada yük, grup numarasından 10 sayısı çıkarılarak bulunur) oluşturmak için üç elektron kaybeder. Grup 13 deki diğer birkaç element ve daha yüksek gruplardaki elementler birden çok yük taşıyan iyonlar oluşturabilirler. Bunlar Bölüm 9 da ayrıntılı olarak incelenecektir.

Ametal atomları iyon oluştururken elektron alırlar. Alınan elektron sayısı 18 eksi IUPAC grup numarasıdır. Buna göre bir oksijen atomu, O^{2-} olması için 18-16 = 2 elektron, bir klor atomu Cl^- olması için 18 – 17= 1 elektron alır. "18 eksi grup numarası" kuralı, grup 18 de bulunan bir neon atomunun elektron alamayacağını gösterir: 18 – 18 = 0. Soy gazların çok sınırlı olarak elektron alıp iyonlaşabilmesi bu grup elementlerinin bir kaç özelliğinden birisidir ve zamanla bunları inceleyeceğiz.

Grup 3 – 12 elementleri **geçiş elementleri**dir ve hepsi de metal olduğundan **geçiş metalleri** diye adlandırılırlar. Geçiş metalleri de baş grup metalleri gibi pozitif yüklü iyonlar oluştururlar. Ancak verdikleri elektronların sayısı ile grup numaraları arasında basit bir ilişki yoktur. Çünkü geçiş metalleri farklı yüklerde iki ya da daha çok iyon oluşturabilirler.

2-7 Mol Kavramı ve Avogadro Sayısı

Kimyacılar, Dalton'dan başlayarak, bağıl sayıların önemini kavramaya başladılar. Örneğin, iki hidrojen atomu ile bir oksijen atomunun birleşerek bir su molekülü oluşturduğu ifadesinin anlamını fark ettiler. Atomlar ve moleküller normal yollarla sayılamadığından, miktarlarının kütlelerin ölçülmesi gibi başka yollardan belirlenmesi gerekiyordu. Yani bize bir elementin ölçülen kütlesiyle, belirli fakat sayılamayan atom sayısı arasında bir bağıntı gerekliydi. Bu durum tıpkı şuna benzer: Bir kişi çok sayıda çiviye ihtiyaç duyuyorsa, çivileri sayarak değil, kutular şeklinde ya da kilo ile satın alır. Böylece, sayılamayacak büyüklükteki birçokluğu sayılabilecek birimlerle ifade etmiş olur.

Sayılamayacak çokluktaki tek çeşit bir maddenin miktarı SI birim sisteminde *mol* birimi ile ifade edilir. Bir **mol**, tam 12 g karbon -12 de bulunan karbon -12 atomlarının sayısı kadar tanecik içeren madde miktarıdır. Atom ve molekül gibi taneciklerin bir mollerinin içerdiği tanecik sayısına **Avogadro sabiti**, N_A denir.

$$N_A = 6{,}02214179 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1} \qquad (2.4)$$

Avogadro sabiti, $6{,}02214179 \times 10^{23}$ tanecik içerir. Bu sayı Avogadro *sayısı* olarak bilinir ve birimi "mol^{-1}"dir . Bu birim, 1 mol maddedeki tanecik sayısını belirtmektedir.

Avogadro sayısının değeri, hem bir tanım ve hem de bir ölçüm temeline dayanır. Bir mol karbon-12, 12 g olarak *tanımlanır*. Eğer bir karbon-12 atomunun kütlesi, kütle spektroskopisi(bakınız Şekil 2-14) ile *ölçülseydi*, atom kütlesi $1{,}9926 \times 10^{-23}$ g olacaktı. Bu iki kütlenin oranı Avogadro sayısı hakkında bize bilgi sağlar. Aslına bakarsak, Avogadro sayısının tam doğru olarak saptanabilmesi, sadece tek bir karbon-12 nin kütlesinin ölçülmesini değil, başka ölçümlerin yapılmasını da gerektirir.

N_A nın değeri $6{,}022 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$ ya da çoğu kez $6{,}02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$ şeklinde yuvarlanır.

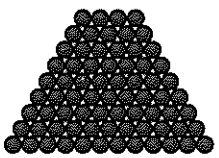
Eğer bir madde tek bir izotopun atomlarından ibaretse, şöyle yazabiliriz.

1 mol $^{12}C = 6{,}02214 \times 10^{23}$ ^{12}C atomu = 12,0000 g
1 mol $^{16}O = 6{,}02214 \times 10^{23}$ ^{16}O atomu = 15,9949 g (ve vb.)

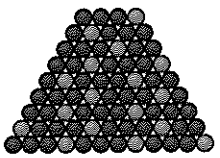
▶ Avogadro sayısı ölçüme bağlı olduğu için, yıllar içinde çok az da olsa değişmiştir. Bilim ve Teknoloji Bilgi Kurulu (CODATA) tarafından, 1986 dan beri önerilen değerler aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Yıl	Avogadro Sayısı
1986	$6{,}0221367 \times 10^{23}$
1998	$6{,}02214199 \times 10^{23}$
2002	$6{,}0221415 \times 10^{23}$
2006	$6{,}02214179 \times 10^{23}$

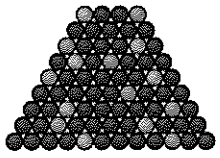
▶ Avogadro sayısı ve değeri tam olarak bilinen başka sayılarla yapılan hesaplamalarda, yuvarlamanın son kesin değer üzerinden yapılması, yuvarlamadan gelecek hataları önler.



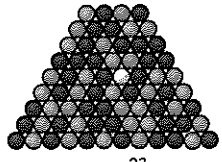
(a) $6{,}02214 \times 10^{23}$ F atomları = 18,9984 g



(b) $6{,}02214 \times 10^{23}$ Cl atomları = 35,453 g



(c) $6{,}02214 \times 10^{23}$ Mg atomları = 24,3050 g



(d) $6{,}02214 \times 10^{23}$ Pb atomları = 207,2 g

▲ ŞEKİL 2-16
Dört farklı elementin izotoplarının dağılımı
(a) Yalnızca bir çeşit flor atomu ^{19}F vardır (kırmızıyla gösterilmiştir). (b) Klor atomlarının %75,77 si ^{35}Cl (kırmızı), kalanı ^{37}Cl (mavi) dir. (c) Magnezyumun başlıca izotopu ^{24}Mg (kırmızı) ve azınlıkta olan izotopları ^{25}Mg (gri) ve ^{26}Mg (mavi) dur. (d) Kurşunun dört doğal izotopu vardır. %1,4 ^{204}Pb (sarı) %24,1 ^{206}Pb (mavi), 22,1 ^{207}Pb (gri) ve %52,4 ^{208}Pb (kırmızı)

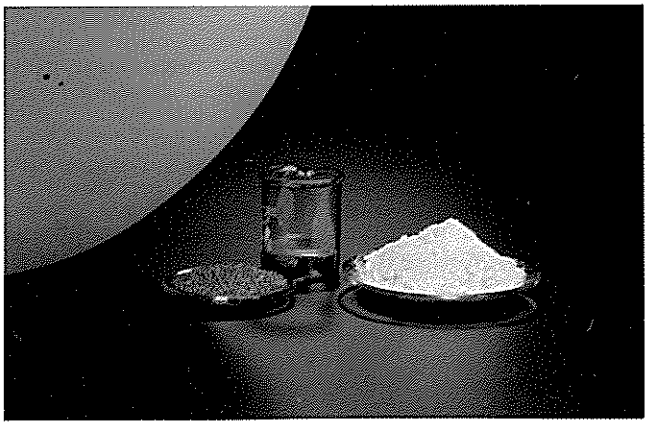
Elementlerin çoğu iki ya da daha çok izotopun bir karışımıdır. Böyle elementlerin 1 molündeki atomların hepsinin kütleleri aynı olmayıp, doğada bulunma oranındadır. Örneğin, 1 mol karbonun çoğu karbon -12 atomu, ama bir miktarı da karbon –13 tür. Yine, 1 mol oksijenin büyük çoğunluğu oksijen -16, az bir kısmı oksijen –17 ve oksijen –18 dir. Bu nedenle,

1mol C $= 6{,}02214 \times 10^{23}$	C atomu = 12,0107 g
1 mol O $= 6{,}02214 \times 10^{23}$	O atomu = 15,9994 g ve vb.

Avogadro sabiti bilinçli olarak seçilmiştir. Öyle ki, bir mol karbon-12 atomunun kütlesi tam 12 g dır ve tek bir karbon-12 atomun kütlesi de tam 12 akb dir, yani aynı *sayısal* değerlere sahiptirler. Böylece, bütün diğer elementler için, bir mol atomun gram kütlesinin sayısal değeri ile atom kütle birimindeki ağırlıklı ortalama atom kütlesi eşittir. Örneğin, lityumun ağırlıklı ortalama atom kütlesi 6,941 akb dir ve bir mol lityum atom kütlesi 6,941 g dır. Buradan hareketle, bir mol atomun kütlesine **mol kütlesi**, *M* denir. Atomların mol kütleleri, atom kütleleri* çizelgelerinde verilmektedir. Örneğin Li un mol kütlesi 6,941 g Li/mol Li dur. Şekil 2-16 bir elementin izotop dağılımını, Şekil 2-17 ise dört elementin birer molünü göstermektedir.

◀ Karbonun ağırlıklı ortalama atom kütlesini sayfa 48 de hesapladık.

UNUTMAYINIZ
Mol kütlesinin birimi g/mol dür.



◀ ŞEKİL 2-17
Bir mol element
Solda bir mol bakır atomu, sağda bir mol kükürt atomu görülmektedir. Cam kapta ise bir mol sıvı cıva vardır. Balonda da bir mol helyum gazı bulunuyor.

*Çizelgelerde verilen atom kütlesi (atom ağırlığı) değerleri, özellikle *bağıl* atom kütleleri şeklinde ifade edilirse, genellikle birimsiz yazılır. Bu kısaca şu demektir: Listelerdeki değerler, örneğin, karbon-12 için, *tam* 12 ye (12 akb yerine) karşılık gelir. Birçok kimyacının yaptığı gibi, biz de atom kütlesi (atom ağırlığı) denildiğinde atom kütle birimini (akb) kullanacağız.

2-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Altının mol kütlesi, Avogadro sayısına bölünürse, doğada bulunan tek bir altın atomunun kütlesini verir. Oysa gümüşün mol kütlesinin Avogadro sayısına bölünmesiyle elde edilen sayı, doğal olarak bulunan hiçbir gümüş atomunun kütlesine eşit değildir. Bu nasıl olabilir?

Avagadro Sayısının Büyüklüğü

Avogadro sayısı ($6{,}02214 \times 10^{23}$) hayal edilemeyecek kadar büyük bir sayıdır. Atom yığınları yerine fasulye yığınını saydığımızı düşünün. Eğer bir fasulye taneciğinin hacmi 0,1 cm^3 ise, "bir mol fasulye" Türkiye'nin yüzeyini yaklaşık 72 km kalınlığında bir tabaka şeklinde kaplayabilir. Bir kişinin bir maddenin taneciklerini, örneğin buğday taneciklerini 100 tane/dakika hızla sayabildiğini varsayarsak, kişi bir ömür boyunca ancak yaklaşık 4 milyar taneciği sayabilir. Dünyadaki bütün insanlar ömürlerini buğday taneciği saymakla geçirseler bile Avogadro sayısı kadar tanecik sayamazlar. Üstelik bir mol buğday taneciği insanlık tarihinde yetiştirilmiş buğday taneciğinden çok daha fazladır. Saniyede bir milyar işlem yapabilen çok gelişmiş bilgisayarların bile Avogadro sayısı kadar işlem yapabilmeleri için yaklaşık 20 milyon yıla ihtiyaç vardır.

Avogadro sayısının normal sayma işlemlerinde kullanılamayacağı açıktır. Bununla birlikte, bu olağanüstü büyük sayı, atom ve molekül gibi olağanüstü küçük nesnelerin sayısal değerini belirtmekte kullanılabilir.

▶ Bölüm 3 ve Alıştırma 113 ile başlayarak, bu kitabın bir çok yerinde N_A değerini hesaplama fırsatı bulacağız.

2-8 Hesaplamalarda Mol Kavramının Kullanılışı

Mol kavramını soru çözümlerinde sık sık kullanacağız. Yeri geldikçe bu kavramdan nasıl yararlanacağımızı anlatacağız. Burada üzerinde duracağımız konu, atom sayıları ve mol sayısı arasındaki ilişkidir. 1 mol S = $6{,}022 \times 10^{23}$ S atomu = 32,065 g S ifadesini göz önüne alalım. Bu ifadeden yararlanarak aşağıdaki çevirme faktörlerini yazabiliriz.

$$\frac{1 \text{ mol S}}{6{,}022 \times 10^{23} \text{ S atomları}} \quad \text{ve} \quad \frac{32{,}065 \text{ g S}}{1 \text{ mol S}}$$



▲ ŞEKİL 2-18
$7{,}64 \times 10^{22}$ S atomunun (0,127 mol S) tartılması (Örnek 2-8)
Teraziye boş kap konduktan sonra sıfır ayarı yapılır. Buna göre, kükürt örneği 4,07 g gelmektedir.

Avogadro sayısını içeren hesaplamalarda öğrencilerin sık karşılaştıkları sorun, ne zaman N_A ile çarpılacağı, ne zaman bölüneceğidir. Bu sorunu çözme yollarından biri, Avogadro sayısını, birimlerin birbirini uygun şekilde götürebileceği biçimde yazmaktır. Diğeri ise beklenen sonucu düşünmektir. Örneğin, atom sayılarının hesaplanması işleminde elde edilecek sayının çok büyük olacağını ve *asla* 1 den küçük olamayacağını bilmek gerekir.

Aşağıdaki örneklerde, verilen bir numunede bulunan atom sayılarını belirlemede atom kütlelerini ve Avogadro sayısını nasıl kullandığımızı göreceğiz. Öğrenciler hesaplamalarda atom kütlelerini ve Avogadro sayısını ne kadar yuvarlayacaklarını sık sık sorarlar. İşte size pratik bir yöntem;

İstenen maksimum kesinliği yakalayabilmek için, iyi bilinen fiziksel sabitlerin anlamlı sayılarını, ölçülen diğer niceliklerin anlamlı sayılarından en az bir fazla alınız.

Örneğin, 0,600 mol kükürtün kütlesinin hesaplanmasında, S ün atom kütlesini, en azından dört anlamlı rakam ile kullanmalıyız. 0,600 mol S × 32,07 g S/mol S = 19,2 g yanıtı, 0,600 mol S × 32,1 g S/mol S = 19,3 g yanıtından daha kesindir.

ÖRNEK 2-8 Atom Sayısı, Mol Miktarı ve Gram Kütle Arasındaki İlişki

Şekil 2-18 de verilen 4,07 g kükürt örneğinde **(a)** kaç mol kükürt bulunmaktadır ve **(b)** toplam kükürt atomları sayısı nedir?

Analiz

(a) için çevirme yolu g S → mol S dir. Bu çevirmeyi işleme aktarırsak, 4,07 g S, çevirme faktörü (1mol S/ 32,07 g S) ile çarpılır. Çevirme faktörü mol kütlesinin tersidir. **(b)** için, çevirme yolu mol S → atom S dir. İşlemde, **(a)** dan elde edilen mol değerini, çevirme faktörü ($6,022 \times 10^{23}$ tane S atomu / 1 mol S) ile çarparız.

Çözüm

(a) (a) g S →mol S çevirmesi için, $(1/M)$ çevirme faktörü kullanılır ve uygun birimler sadeleştirilir. İşlem sonucunda elde edilen değer, (b) de kullanılacağı için yuvarlama yapılmaksızın verilir.

$$?\ \text{mol S} = 4,07\ \text{g S} \times \frac{1\ \text{mol S}}{32,07\ \text{g S}} = 0,127\ \text{mol S}$$

(b) mol S → atom S çevirmesi, Avogadro sabitinin çevirme faktörü olarak kullanılması ile gerçekleşir.

$$?\ \text{S atomu} = 0,127\ \text{mol S} \times \frac{6,022 \times 10^{23}\ \text{atom S}}{1\ \text{mol S}} = 7,64 \times 10^{22}\ \text{S atomu}$$

Değerlendirme

Hesaplamalarımıza birimleri de dahil edersek, uygun birimlerin sadeleştirilmesini daha iyi kontrol edebiliriz. Ayrıca, örnekte sadece kükürt atomlarının sayısı ile ilgileniyorsak, aşağıdaki gibi, **(a)** ve **(b)** şıklarını birleştirip tek bir işlem yapabiliriz.

$$?\ \text{S atomu} = 4,07\ \text{g S} \times \frac{1\ \text{mol S}}{32,07\ \text{g S}} \times \frac{6,022 \times 10^{23}\ \text{atom S}}{1\ \text{mol S}} = 7,64 \times 10^{22}\ \text{S atomu}$$

Eğer 4,07 g S × (1mol S/ 32,07 g S) işleminin sonucu olan 0,127 mol S değerini yuvarlamış olsak ve bu yuvarlanmış değeri **(b)** şıkkında kullansaydık, sonucu $7,65 \times 10^{22}$ atom olarak elde ederdik. Tek bir hesaplamada ara sonuçlar yazılmadığı için, yuvarlama hatalarını önleriz.

ALIŞTIRMA A: $2,35 \times 10^{24}$ tane Cu atomun kütlesi nedir?

ALIŞTIRMA B: 22,6 g kurşun metali örneğinde kaç tane kurşun–206 atomu vardır? [*İpucu:* Şekil 2-16 ya bakınız.]

Mol kavramının kullanılmasına en çarpıcı örnek, belki de Örnek 2-9 dur. Ayrıca bu örnek çeşitli çevirme faktörleri gerektiren daha büyük problemin bir parçasıdır. Bu yaklaşım, verilenden istenen bilgiye çevirme faktörleri üzerinden ulaşmanın yolunu göstermesi bakımından önemlidir.

ÖRNEK 2-9 Mol Kütlesi, Avogadro Sayısı ve Bolluk Yüzdesi Hesaplamasında Birkaç Faktörün Birleştirilmesi

Potasyum-40 doğal radyoaktif olan, küçük atom numaralı bir kaç element izotopundan biridir ve doğada K izotopları içerisindeki bolluk yüzdesi % 0,012 dir. 1,65 mg K /mL içeren 225 mL sütü içtiğiniz zaman kaç tane ^{40}K atomu yutmuş olursunuz?

Analiz

Problemin sonunda, mL süt → ^{40}K atomu çevirmesini yapmamız gerekmektedir. Tek bir basamakta bu çevirmeyi tamamlayacak bir çevirme faktörü yoktur. Öyleyse, problemi çözebilmek için bir kaç basmak ya da bir kaç çevirme faktörü kullanabiliriz. 1,65 mg K /mL = 1,65 × 10^{-3} g K /mL diyebiliriz ve bu bilgiyi mL süt → g K çevirmesinde kullanabiliriz. Böylece, K un mol kütlesi ve Avogadro sayısı ile ilişkili çevirme faktörünü kullanarak g K → mol K → K atomları çevirmesine geçebiliriz. Son olarak, ^{40}K atomun yüzde doğal bolluğuna dayanan çevirme faktörünü kullanarak, K atomları → ^{40}K atomlarına geçebiliriz. Toplam çevirme yolu aşağıda verilmektedir:

$$\text{mL süt} \rightarrow \text{mg K} \rightarrow \text{g K} \rightarrow \text{mol K} \rightarrow \text{K atomları} \rightarrow {}^{40}\text{K atomları}$$

Çözüm

Gerekli çevirmeler çok basamakta ya da tek basamakta yapılabilir. Gelin önce çok basamaklı çözelim. Önce, mL sütten gK'a geçelim.

$$?\ \text{g K} = 225\ \text{mL süt} \times \frac{1{,}65\ \text{mg K}}{1\ \text{mL süt}} \times \frac{1\ \text{g K}}{1000\ \text{mg K}} = 0{,}371\ \text{g K}$$

Sonra, g K dan mol K elde edelim,

$$?\ \text{mol K} = 0{,}371\ \text{g K} \times \frac{1\ \text{mol K}}{39{,}10\ \text{g K}} = 9{,}49 \times 10^{-3}\ \text{mol K}$$

Daha sonra mol K dan K atomlarına geçelim

$$?\ \text{K atomu} = 9{,}49 \times 10^{-3}\ \text{mol K} \times \frac{6{,}022 \times 10^{23}\ \text{K atomu}}{1\ \text{mol K}} = 5{,}71 \times 10^{21}\ \text{K atomu}$$

Son olarak, K atomlarından ^{40}K atomlarını elde edelim.

$$?\ {}^{40}\text{K atomu} = 5{,}71 \times 10^{21}\ \text{atomları K} \times \frac{0{,}012\ {}^{40}\text{K atomu}}{100\ \text{K atomu}} = 6{,}9 \times 10^{17}\ {}^{40}\text{K atomu}$$

Değerlendirme

^{40}K atomlarının yüzde doğal bolluğu iki anlamlı rakama sahip olduğu için, hesaplama sonucunda elde edilen değer, iki anlamlı rakama yuvarlanır. Aynı hesaplamayı, basamakları birleştirip tek basamakta yapmak da mümkündür.

$$?\ {}^{40}\text{K atomu} = 225\ \text{mL süt} \times \frac{1{,}65\ \text{mg K}}{1\ \text{mL süt}} \times \frac{1\ \text{g K}}{1000\ \text{mg K}} \times \frac{1\ \text{mol K}}{39{,}10\ \text{g K}}$$

$$\times \frac{6{,}022 \times 10^{23}\ \text{K atomu}}{1\ \text{mol K}} \times \frac{0{,}012\ {}^{40}\text{K atomu}}{100\ \text{K atomu}}$$

$$= 6{,}9 \times 10^{17}\ {}^{40}\text{K atomu}$$

ALIŞTIRMA A: 0,105 cm^3 hacminde küçük bir kurşun parçasında ne kadar Pb atomu vardır? Kurşunun yoğunluğu = 11,34 g/cm^3 tür.

ALIŞTIRMA B: Renyum-187 meteoritlerin yaş tayininde kullanılabilen radyoaktif bir elementtir. 0,100 mg Re örneği 2,02 × 10^{17} tane ^{187}Re atomu içermektedir. Renyum-187 nin örnekteki bolluk yüzdesi nedir?

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Doğada en bol bulunan element nedir? Soru basit gözükse de cevap kolay değildir. Evrendeki ve yerkabuğundaki elementlerin bolluğu hakkında daha fazla bilgi edinmek için, bakınız: Focus On feature for Chapter 2, Occurrence and Abundances of the Elements, on the MasteringChemistry site.

Özet

2-1 Kimyada İlk Buluşlar ve Atom Kuramı—Modern kimya 18. yüzyıldaki buluşlarla başladı. Bu buluşlar **kütlenin korunumu yasası** ve **sabit oranlar yasasının** ortaya konmasını ve giderek Dalton atom kuramının geliştirilmesini sağladı. Dalton atom kuramına göre madde, atom adı verilen çok küçük ve bölünemeyen taneciklerden oluşmuştur; bir elementin atomları birbirleri ile özdeştir, ancak diğer elementlerin atomlarından farklıdır. Kimyasal bileşikler farklı elementlerin atomlarının birleşmesiyle oluşur. Dalton bu kurama dayanarak, bir başka kimyasal birleşim yasası olan **katlı oranlar yasasını** önerdi.

2-2 Elektronlar ve Atom Fiziğinde Diğer Buluşlar—Atom yapıları hakkında ilk ipuçları, **Katot ışınlarının (elektronlar)** keşfi ve tanımlanması ile ortaya çıkmıştır. Esas deneyler kütle-yük oranının saptanmasını (Şekil 2-7) ve sonra bir elektronun yükünün bulunmasını (Şekil 2-8) sağlayan deneylerdi. Katot ışını çalışmaları sırasında, iki önemli rastlantısal buluş, X-ışınları ve **radyoaktifliktir**. Radyoaktif maddeler tarafından yayılan başlıca ışın çeşitleri **alfa (α)**, **beta (β)** ve **(γ) gama** ışınlarıdır.

2-3 Atom Çekirdeği—İnce bir metal yapraktan (Şekil -11) alfa parçacıklarının saçılması ile ilgili çalışmalar, atom çekirdeği kavramını doğurdu. Buna göre, çok küçük, fakat çok ağır, pozitif yüklü bir çekirdek, çok hafif, negatif yüklü elektronlar tarafından çevrilmiştir (Şekil 2-12). Atom çekirdeğinin yapısı ile ilgili daha bütünleyici tanımlar **proton** ve **nötronun** keşfi ile sağlandı. Tek bir atom, **atom numarası (proton sayısı)** Z ve **kütle numarası,** A ile karakterize edilir. A-Z arasındaki fark, **nötron** sayısıdır. Tek bir atomun kütlesi ve bileşenleri **atom kütle birimi**nde **(akb)** verilir.

2-4 Kimyasal Elementler—Z= 1 den Z= 112 ye kadar tüm elementler, element 112 hariç, tanımlanmış ve tüm elementlerin adları ve **kimyasal simgeleri** verilmiştir. Z=112 yi izleyen birkaç elementin bilgileri çok kesin değildir. **Nüklit** terimi belirli bir atom numarası ve kütle numarası olan bir atomu tanımlar. Kütle numarası farklı olan aynı elementin atomları **izotop**lar olarak adlandırılır. Bir izotopun **yüzde doğal bolluğu** ve atomunun kesin kütlesi, **kütle spektrometresi** ile saptanabilir (Şekil 2-14). Bir atom ya da **iyonun** bileşimini gösteren özel simgeler (açıklama 2.2), atomun kendisinden türetilir.

2-5 Atom Kütlesi—Bir elementin **atom kütlesi** (ağırlığı), karbon-12 izotopu için tam 12 akb olarak kabul edilmiş referansa göre, bir ortalama ağırlıktır. Bu ağırlıklı ortalama, deneysel olarak saptanmış atom kütlesinden ve açıklama (2.3) de belirtildiği gibi elementin doğada bulunan izotoplarının yüzde bolluğundan hesaplanır.

2-6 Periyodik Çizelgeye Giriş—Periyodik çizelge (Şekil 2-15), yatay (**periyot**) ve dikey (**grup**) olarak, elementlerin atom numaralarına göre sıralanmasıyla düzenlenir. Çizelgedeki her bir grup benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip elementlerden oluşur. Periyodik çizelge elementleri alt bölümlere de ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmalardan biri **metaller, ametaller, yarı-metaller** ve **soygazlar**dır. Diğeri **baş grup elementleri** ve **geçiş elementleri**dir (geçiş metalleri). Geçiş elementlerine dahil olan, **lantanitler** ve **aktinitler** olarak iki alt grup daha vardır. Periyodik çizelge, konu boyunca da görüleceği gibi, birçok fayda sağlar. Bu bölümde önem verilen husus, periyodik çizelgeden yararlanarak basit iyonlar için simgelerin yazılabilmesidir.

2-7 Mol Kavramı ve Avogadro Sayısı—**Avogadro sayısı,** N_A = 6,02214 × 10^{23} mol^{-1} tam 12 g karbon-12 içindeki karbon-12 atomlarının sayısıdır. Daha genel bir tanımla, Avogadro sayısı 1 mol saf maddedeki en basit taneciğin (örneğin, atom, molekül) sayısıdır. Bir elementin 1 mol atomunun kütlesine **mol kütlesi,** M denir.

2-8 Hesaplamalarda Mol Kavramının Kullanılışı—Mol kütlesi ve Avogadro sayısı, bir element örneğinde atomların sayısı, miktarı (mol) ve kütlesini içeren birçok işlemde kullanılır. Bu işlemlerde başka çevirme faktörleri de kullanılabilir. Mol kavramı ile kitabın çoğu bölümünde sık sık karşılaşacağız.

Pekiştirici Örnek

Paslanmaz çelikten bir kürenin yarıçapı 6,35 mm, yoğunluğu 7,75 g/cm^3 tür. Çeliğin başlıca elementi demirdir. Başlıca katkı elementi ise karbondur. Çelik kürenin kütlece yüzde %0,25 i karbondur. ^{13}C izotopunun doğada bolluk yüzdesi %1,108 olduğuna göre, çelik küredeki ^{13}C atomlarının sayısını bulunuz.

Analiz

Amaç, belirli bileşimdeki bir kürede bulunan karbon-13 atomlarının sayısını saptamaktır. Bu problemin kritik noktası, mol kütlesi ve Avogadro sayısını kullanarak atom sayısından kütleye nasıl geçildiğini göstermektir. İlk basamak, küpün hacmini bulmak için yarıçapın kullanılmasıdır. İkinci basamak, çeliğin yüzde bileşim ile yoğunluğunu kullanarak karbonun kütlesini hesaplamaktır. Üçüncü basamak, karbonun gram miktarından molüne geçmek için mol kütlesini kullanmaktır; daha sonra karbonun molünden tanecik sayısına geçmek için Avogadro sayısı kullanılır. Son basamakta, karbon-13 atomunun doğal bolluğu ile küredeki toplam karbon atom sayısından karbon-13 atomlarının sayısı bulunur.

Çözüm

Kürenin hacmi cm^3 cinsinden, $V = 4/3\ \pi r^3$ eşitliği kullanılarak bulunur. Kürenin hacmini cm^3 cinsinden bulmak için, yarıçapı mm den cm ye çevirmeyi unutmayınız.

$$V = \frac{4\pi}{3}\left[6{,}35\ \text{mm} \times \frac{1\ \text{cm}}{10\ \text{mm}}\right]^3 = 1{,}07\ \text{cm}^3$$

Kürenin hacmi ile çeliğin yoğunluğunun çarpımı kürenin kütlesine eşittir. Kürenin kütlesi, çelikteki yüzde karbon ile çarpılarak karbonun kütlesi bulunur.

$$?\ \text{g C} = 1{,}07\ \text{cm}^3 \times \frac{7{,}75\ \text{g çelik}}{1\ \text{cm}^3\ \text{çelik}} \times \frac{0{,}25\ \text{g C}}{100\ \text{g çelik}} = 0{,}021\ \text{g C}$$

Karbonun kütlesi, öncelikle karbonun mol kütlesinin tersi kullanılarak, karbonun molüne çevrilir. Daha sonra, karbonun molünü karbonun atom sayısına çevirmek için Avogadro sayısı kullanılır.

$$?\ \text{C atomları} = 0{,}021\ \text{g C} \times \frac{1\ \text{mol C}}{12{,}011\ \text{g C}} \times \frac{6{,}022 \times 10^{23}\ \text{C atomları}}{1\ \text{mol C}}$$
$$= 1{,}1 \times 10^{21}\ \text{C atomları}$$

^{13}C atomlarının sayısı, karbon-13 ün yüzde doğal bolluğunun kullanılması ile saptanır.

$$?\ ^{13}\text{C atomları} = 1{,}1 \times 10^{21}\ \text{C atomları} \times \frac{1{,}108\ ^{13}\text{C atomları}}{100\ \text{C atomları}}$$
$$= 1{,}2 \times 10^{19}\ ^{13}\text{C atomları}$$

Değerlendirme

Doğadaki karbon atomlarının % 1,108 i karbon-13 olduğundan, karbon-13 atomlarının sayısı, karbon atomlarının sayısından daha azdır. Hatadan kaçınmak için, her nicel değer, birimi ile yazılmalı ve gerekli sadeleştirmeler yapılmalıdır. Bu problemden iki sonuç çıkarılabilir; birincisi, çok küçük bir kürenin, karbon-13 ün doğal bolluğu %1,108 olsa bile çok büyük sayıda karbon-13 içermesidir. İkincisi, bir atomun boyutu çok küçük olmalıdır.

ALIŞTIRMA A: Kenarı 25 nm olarak ölçülen bir kristal bakır küpdeki ^{63}Cu atomların sayısını hesaplayınız. Bakırın yoğunluğu 8,92 g/cm^3 dür ve ^{63}Cu ün yüzde doğal bolluğu %69,17 dir.

ALIŞTIRMA B: Birleşmiş Milletler Gıda ve İlaç Kurulu (USFDA), yetişkinler ve dört yaş üstü çocuklar için günlük Fe miktarını 18 mg olarak önerir. Kahvaltılık tahıl gevreği kutusunun üstündeki etikette bir porsiyon (55 g) kuru tahıl gevreğinin günlük Fe ihtiyacının % 45 ini karşıladığı belirtilmektedir. ^{58}Fe in yüzde doğal bolluğu, %0,282 dir. Tam bir mol ^{58}Fe tüketilmesi için ne kadar tahıllı gevreğin yenmesi gerekir? ^{58}Fe in atom ağırlığı 57,9333 akb dir. Bir kişinin her gün bir porsiyon tahıl gevreğini yediğini kabul edersek, yaşamı boyunca bu kadar fazla miktarı tüketmesi mümkün müdür?

MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, çalışma alanındaki ilave kişisel çalışma sorularına bu bağlantı ile ulaşabilirsiniz.

Alıştırmalar

Kütlenin Korunumu Yasası

1. Bir demir parçası paslandığında kütlesi artar. Bir kibrit yandığında ise kütlesi azalır. Bu iki gözlem kütlenin korunumu yasasını çürütür mü? Açıklayınız.
2. Bir magnezyum şerit havada yandığı zaman beyaz bir toz oluşur (Şekil 2-1). Bu tozun ağırlığı yanan metalin ağırlığından fazladır. Eğer magnezyum şerit fotoğraf flaşı ampulünde yanarsa, ampulün ağırlığı değişmez. Bu gözlemleri açıklayınız.
3. 0,406 g magnezyum örneğinin oksijen ile tepkimesinden, sadece 0,674 g magnezyum oksit oluşmaktadır. Tepkimede harcanan oksijenin kütlesi nedir?
4. 1,446 g potasyum örneğinin, 8,178 g klor ile tepkimesinden sadece potasyum klorür oluşmaktadır. Tepkimeden sonra, 6,867 g klor tepkimeye girmeden kalmaktadır. Oluşan potasyum klorürün kütlesi nedir?
5. 10,500 g kalsiyum hidroksit ile 11,125 g amonyum klorür içeren katı bir karışım kuvvetlice ısıtıldığında gazlar açığa çıkmakta ve 14,336 g lık katı bir kalıntı geriye kalmaktadır. Açığa çıkan gazlar 62,316 g sudan geçirildiğinde çözelti kütlesi 69,605 g olmaktadır. Deneysel hata sınırları içerisinde, bu verilerin kütlenin korunumu yasasına uyduğunu gösteriniz.
6. Aşağıdaki deneyin kütlelerin korunumu yasasına, deneysel hata sınırları içinde, uyduğunu gösteriniz: 10,00 g kalsiyum karbonat 100,0 mL hidroklorik asit içinde çözülüyor (d = 1,148 g/mL). Ürünler 120,40 g çözelti (hidroklorik asit ve kalsiyum klorür karışımı) ve 2,22 L karbon dioksit gazıdır (d = 1,9769 g/L).

Sabit Oranlar Yasası

7. Örnek 2-1 de, magnezyumun, magnezyum oksi-de kütle oranının 0,455 g magnezyum / 0,755 g magnezyum oksit olduğunu tespit ettik.
(a) Kütlece, oksijenin magnezyum okside oranı nedir?
(b) Oksijenin, magnezyum oksitteki magnezyuma kütle oranı nedir?
(c) Magnezyum oksitteki magnezyumun kütlece yüzdesi nedir?
8. 3,62 g, 5,91 g ve 7,07 g ağırlığında saf karbon örnekleri aşırı havada yakıldı. Elde edilen karbon dioksit (tek üründür) kütleleri, sırasıyla 13,26 g, 21,66 g ve 25,91 g dır.
(a) Bu verilerden karbon dioksitin sabit bileşime sahip olduğu sonucu çıkar mı?
(b) Karbon dioksitin kütlece % C ve % O bileşimi nedir?
9. Bir deneyde 2,18 g sodyum 16,12 g klor ile tepkimeye sokuluyor. Bütün sodyum harcanıyor ve 5,54 g sodyum klorür (tuz) elde ediliyor. İkinci bir deneyde 2,10 g klor 10,00 g sodyum ile etkileştiriliyor. Bütün klor harcanıyor ve 3,46 g sodyum klorür elde ediliyor. Bu sonuçların sabit oranlar yasasına uyduğunu gösteriniz.
10. 3,06 g hidrojen aşırı oksijenle tepkimeye sokuluyor ve 27,35 g su elde ediliyor. İkinci bir deneyde bir su örneği elektrolizle ayrıştırılıyor ve 1,45 g hidrojen ve 11,51 g oksijen elde ediliyor. Bu sonuçların sabit oranlar yasasına uyup uymadığını gösteriniz.
11. Bir deneyde 0,312 g kükürt yakılıyor ve tek ürün olarak 0,623 g kükürt dioksit elde ediliyor. İkinci bir deneyde ise, 0,842 g kükürt dioksit elde ediliyor. İkinci deneyde yakılan kükürdün kütlesi ne kadardır?
12. Bir deneyde 1,00 g cıva ve aşırı kükürt tepkimeye sokularak 1,16 g cıva sülfür elde ediliyor. İkinci bir deneyde ise 1,50 g cıva ve 1,00 g kükürtten yine cıva sülfür elde ediliyor.
(a) İkinci deneyden elde edilen cıva sülfürün kütlesi nedir?
(b) İkinci deneyde hangi elementin (cıva ya da kükürt) ne kadarı tepkimeye girmemiştir?

Katlı Oranlar Yasası

13. Kükürt, oksijen ile iki bileşik oluşturmaktadır. Birinci bileşikte, 1,000 g kükürt 0,998 g oksijen ile, ikinci bileşikte 1,000 g kükürt 1,497 g oksijen ile birleşmektedir. Bu sonuçların Dalton'nun katlı oranlar yasasına uyup uymadığını gösteriniz.
14. Fosfor, klor ile iki bileşik oluşturmaktadır. Birinci bileşikte, 1,000 g fosfor 3,433 g klor ile, ikinci bileşikte 2,500 g fosfor 14,308 g klor ile birleşmektedir. Bu sonuçların Dalton'nun katlı oranlar yasasına uyup uymadığını gösteriniz.
15. Aşağıdaki veriler azot ve hidrojen arasında oluşan bileşikler için elde edilmiştir:

Bileşik	Azot Kütlesi, (g)	Hidrojen Kütlesi, (g)
A	0,500	0,108
B	1,000	0,0720
C	0,750	0,108

(a) Bu verilerin katlı oranlar yasasına uyduğunu gösteriniz.
(b) B bileşiğinin formülü N_2H_2 ise, A ve C bileşiklerinin formülleri nelerdir?

16. Aşağıdaki veriler iyot ve flor arasında oluşan bileşikler için elde edilmiştir.

Bileşik	Iyot Kütlesi, (g)	Flor Kütlesi, (g)
A	1,000	0,1497
B	0,500	0,2246
C	0,750	0,5614
D	1,000	1,0480

(a) Bu verilerin katlı oranlar yasasına uyduğunu gösteriniz.
(b) A bileşiğinin formülü IF ise B, C ve D nin formülleri nelerdir?
17. Bakırın iki oksidi vardır. Birinci oksidinde kütlece %20 oksijen bulunmaktadır. İkinci oksidindeki oksijen yüzdesi birincisinden daha *küçüktür*. İkinci oksitteki olası oksijen yüzdesi nedir?
18. Karbonun iki oksiti CO ve CO_2 dir (sayfa 38). Karbonun bir diğer 2,350 g lık oksidi 1,106 g oksijen içermektedir. Bu üçüncü oksitteki karbon ve oksijen atomlarının birleşme oranı nedir? Açıklayınız.

Temel Yükler ve Kütle-Yük Oranları

19. Millikan deneyine (Şekil 2-8) benzer bir deneyde 5 yağ damlası ile aşağıdaki gözlemler yapılmıştır. 1. damlanın yükü $1{,}28 \times 10^{-18}$C; 2. ve 3. damlaların her ikisinin yükleri, 1. damlanın yükünün 1/2 si, 4. damlanın yükü 1. damlanın yükünün 1/8 i; 5. damlanın yükü 1. damlanın yükünün dört katı bulunmuştur. Bu veriler kitapta verilen elektron yükü ile uyuşmakta mıdır? Millikan bu verilerden yararlanarak elektronun yükünü bulabilir miydi? Açıklayınız.
20. 19. sorudaki deneye benzer bir deneyde, 1. damlanın yükü $6{,}41 \times 10^{-19}$ C; 2. damlanın yükü 1. damlanın yükünün 1/2 si; üçüncü damlanın yükü birinci damlanın yükünün üç katı; 4. dam-

ların yükü $1,44 \times 10^{-18}$ C ve 5. damlanın yükü 4. damlanın yükünün 1/3 ü bulunmuştur. Bu veriler kitapta verilen elektron yükü ile uyuşmakta mıdır? Millikan bu verilerden yararlanarak elektronun yükünü bulabilir miydi? Açıklayınız.

21. Aşağıdaki ifadelerin doğruluğunu Çizelge 2-1 deki verileri kullanarak kanıtlayınız.
(a) Elektronun kütlesi H atomunun kütlesinin yaklaşık 1/2000 dir.
(b) Pozitif iyonların kütle-yük oranı, (m/e), elektron için olandan oldukça büyüktür.

22. $^{127}_{53}I^-$ ve $^{32}_{16}S^{2-}$ iyonlarının yaklaşık m/e değerini kulon/gram cinsinden hesaplayınız. Bunlar niçin yaklaşık değerlerdir?

Atom Numarası, Kütle Numarası ve İzotoplar

23. Aşağıdaki radyoaktif izotoplar tıp alanında uygulamalara sahiptir. $^{A}_{Z}E$ simgelerini yazınız. (a) kobalt-60; (b) fosfor-32; (c) demir-59; (d) radyum-226.

24. ^{202}Hg izotopunun çekirdeğinde bulunan nötron temel parçacıklarının yüzdesini belirtiniz.

25. Aşağıda verilen çizelgeyi tamamlayınız. Atom ya da iyonu kesin olarak tanımlayabilmek için gereken en az bilgi nedir? [*İpuçu:* Satırların hepsi tamamlanmayabilir.]

Ad	Simge	Proton Sayısı	Elektron Sayısı	Nötron Sayısı	Kütle Numarası
Sodyum	$^{23}_{11}Na$	11	11	12	23
Silisyum	—	—	—	14	—
—	—	37	—	—	85
—	^{40}K	—	—	—	—
—	—	—	33	42	—
—	$^{20}Ne^{2+}$	—	—	—	—
—	—	—	—	—	80
—	—	—	—	126	—

26. Aşağıdaki türleri
(a) elektron sayısı; (b)nötron sayısı; (c) kütle artışına göre sıralayınız

$^{112}_{50}Sn$ $^{40}_{18}Ar$ $^{122}_{52}Te$ $^{59}_{29}Cu$ $^{120}_{48}Cd$ $^{58}_{27}Co$ $^{39}_{19}K$

27. Kütlesi 107,90389 akb olan ^{108}Pd için aşağıdakileri belirleyiniz.
(a) Atomda bulunan proton, nötron ve elektron sayıları.
(b) Bu atomun kütlesinin $^{12}_{6}C$ kütlesine oranı.

28. Kütlesi 228,030 akb olan $^{228}Ra^{2+}$ iyonu için aşağıdakileri belirleyiniz.
(a) Atomda bulunan proton, nötron ve elektron sayıları.
(b) Bu atomun kütlesinin ^{16}O kütlesine oranı (Örnek 2-4 ü gözönüne alınız).

29. Bir gümüş izotopunun kütlesi, oksijen-16 kütlesinin 6,68374 katıdır. Bu izotopun kütlesi (akb) ne kadardır? (Örnek 2-4 ü göz önüne alınız).

30. İndiyum elementinin iki doğal izotopunun kütleleri oranı, 1,0177: 1 dir. İki izotoptan daha ağır olanı ^{16}O kütlesinin 7,1838 katıdır. Her iki izotopun kütleleri (akb) nelerdir? (Örnek 2-4 ü göz önüne alınız).

31. Bir kimya elkitabından elementlerin izotop kütleleri ile ilgili aşağıdaki bilgiler verilmiştir: Her bir kütlenin, $^{12}_{6}C$'na oranı nedir? (a) $^{35}_{17}Cl$, 34,96885 akb; (b) $^{26}_{12}Mg$, 25,98259 akb (c) $^{222}_{86}Rn$, 222,0175 akb.

32. Kütle spektroskopisinden elde edilen kütle oranları aşağıda verilmiştir. $^{19}_{9}F/^{12}_{6}C = 1,5832$; $^{35}_{17}Cl/^{19}_{9}F = 1,8406$; $^{81}_{35}Br/^{35}_{17}Cl = 2,3140$. $^{81}_{35}Br$ un akb cinsinden kütlesini saptayınız.

33. Şu tanecikler verilmiştir: $^{24}Mg^{2+}$, ^{47}Cr, $^{60}Co^{3+}$, $^{35}Cl^-$, $^{120}Sn^{2+}$, ^{226}Th, ^{90}Sr.
(a) hangileri eşit sayıda nötron ve elektron taşırlar?
(b) hangileri 9 : 11 : 8 oranında proton, nötron ve elektron taşır?
(c) hangilerinde nötron sayısı proton sayısı ile elektron sayısının yarısının toplamına eşittir?

34. 33. sorudaki aynı tanecikler için,
(a) hangileri eşit sayıda nötron ve elektron taşırlar?
(b) hangilerinde kütlenin %50 den fazlası protonlardan ileri gelir?
(c) hangileri protonlarından %50 daha fazla nötron içerirler?

35. Kütle numarası 44 olan bir izotop, proton sayısından dört daha fazla nötron içerir. Bu hangi elementin izotopudur?

36. Proton sayısından bir fazla nötron içeren ve kütle numarası X^{3+} iyonu yükünün dokuz katına eşit olan, X izotopunu belirleyiniz.

37. İyot, birçok radyoaktif izotopa sahiptir. Radyoaktif iyot-123 izotopu, tiroid salgı bezinin görüntüsünü elde etmek için kullanılır. Hastalara iyot-123, $^{123}I^-$, iyonu içeren, sodyum iyodür kapsülleri şeklinde içirilir. Bir tek $^{123}I^-$ iyonundaki nötron, proton ve elektron sayılarını bulunuz.

38. İyot-131, tıbbi uygulamalarda kullanılan önemli bir radyoizotoptur. İyot-131 in küçük bir dozu, hipertiroidizm (aşırı tiroid) için, daha büyük dozları tiroid kanseri tedavisinde kullanılır. İyot-131, $^{131}I^-$, iyonu içeren, sodyum iyodür kapsülleri şeklinde hastalara içirilir. Tek bir $^{131}I^-$ iyonun-

daki nötron, proton ve elektron sayılarını bulunuz.

39. Amerikyum-241, yüksek duyarlıkta, gaz ve sigara dumanı detektörlerinde kullanılan radyoaktif bir izotoptur. Amerikyum-241 de kaç tane nötron, proton ve elektron vardır?

40. Bazı gıdalar, kobalt-60 gibi radyoaktif izotopların gama ışınlarına maruz bırakılarak daha güvenli yiyecekler haline getiriliyor. Gama ışınlarından elde edilen enerji yiyeceklerdeki bakterileri öldürüyor. Kobalt-60 da kaç tane nötron, proton ve elektron vardır?

Atom Kütle Birimi, Atom Kütleleri

41. Her bir klor atomlarının kütlesi hakkında hangi ifade doğrudur: *Hepsi* 35,4527 akb lik kütleye sahiptir; *bazıları* 35,4527 akb lik kütleye sahiptir; *hiç biri* 35,4527 akb lik kütleye sahip değildir? Açıklayın.
42. Karbon-12 atomunun kütlesi tam 12 akb alınır. Atom kütlesi tamsayı ile verilen (akb) başka atomlar olabilir mi? Açıklayınız.
43. Magnezyumun üç doğal izotopu vardır. Bunların doğada bolluk yüzdeleri ve kütleleri şöyledir: %78,99, 23,985042 akb; %10,00, 24,985837 akb ve %11,01, 25,982593 akb. Magnezyumun ağırlıklı ortalama atom kütlesini hesaplayınız.
44. Kromun dört doğal izotopu vardır. Bunların doğada bolluk yüzdeleri ve kütleleri şöyledir: %4,35, 49,9461 akb; %83,79, 51,9405 akb; %9,50, 52,9407 akb ve %2,36, 53,9389 akb. Kromun ağırlıklı ortalama atom kütlesini hesaplayınız.

45. Gümüşün iki doğal izotopu vardır. Bunların doğada bolluk yüzdeleri şöyledir: %51,84 ^{107}Ag ve %48,16 ^{109}Ag dür. ^{107}Ag nin kütlesi 106,905092 akb olduğuna göre, ^{109}Ag ün kütlesi nedir?
46. Bromun iki doğal izotopu vardır. Bunlardan biri olan brom-79 un kütlesi 78,918336 akb ve bolluğu %50,69 dur. Diğerinin (brom-81) kütlesi ve doğada bolluk yüzdesi nedir?
47. Potasyumun doğal üç izotopu ^{39}K, 38,963707 akb, ^{40}K, 39,963999 akb ve ^{41}K dir. ^{39}K ve ^{41}K un doğada bolluk yüzdeleri, sıra ile %93,2581 ve %6,7302 dir. ^{41}K izotopunun kütlesini bulunuz.
48. Bor elementinin iki doğal izotopu olan ^{10}B ve ^{11}B in doğada bolluk yüzdeleri nelerdir? Bu izotopların atom kütleleri sırasıyla 10,012937 akb ve 11,009305 akb dir.

Kütle Spektrometresi

49. Germanyumun kütle spektrumu 70, 72, 73, 74 ve 76 kütle numaralarında, bağıl yükseklikleri 20,5; 27,4; 7,8; 36,5 ve 7,8 olan pikler göstermektedir.
(a) Bu spektrumu Şekil 2-14 de olduğu gibi çiziniz.
(b) Germanyumun ağırlıklı ortalama atom kütlesini bulunuz ve bu sonucun neden yaklaşık doğru olduğunu söyleyiniz.
50. Hidrojen ve klor atomları tepkimeye girerek 1:1 oranında basit iki atomlu HCl molekülünü oluştururlar. Klor izotoplarının doğal bollukları %75,77 ^{35}Cl ve %24,23 ^{37}Cl dir. ^{2}H ve ^{3}H ün doğal bollukları ise, sıra ile %0,015 ve %0,001 den küçüktür.
(a) Farklı kütlelerde kaç tane HCl molekülü olabilir ve bunların kütle numarası nedir (yani, H ve Cl atomlarının kütle numaraları toplamı)?
(b) Bolluğu en fazla olan HCl molekülü hangisidir. İkinci derecede bol olan hangisidir?

Periyodik Çizelge

51. Periyodik çizelgeye başvurarak aşağıdakileri bulunuz.
(a) Dördüncü periyot ve 14. grup elementi.
(b) Kükürtle benzer ve benzer olmayan birer element.
(c) Beşinci periyotta alkali metal.
(d) Altıncı periyotta halojen.
52. Periyodik çizelgeye başvurarak aşağıdakileri bulunuz.
(a) Altıncı periyot ve 11. grup elementi.
(b) Atom numarası 50 den büyük olup, atom numarası 18 olan ile benzer özellik gösteren element.
(c) E^{2-} iyonu oluşturan elementin grup numarası
(d) M^{3+} iyonu oluşturması beklenen element
53. Periyodik çizelgenin yedinci periyodunun 32 üyeli olduğunu kabul edersek, radon (Rn) elementini takip eden asal gazın atom numarası ne olmalıdır? Fransiyumu (Fr) takip eden alkali metalin atom numarası ne olmalıdır?
54. Artan atom kütlesine göre düzeni bozan birkaç farklı element çiftini bulunuz ve niçin bu sıranın tersine çevrilmesi gerektiğini açıklayınız.

Avagadro Sabiti ve Mol

55. Toplam atom sayısı nedir? **(a)** 15,8 mol Fe; **(b)** 0,000467 mol Ag; **(c)** $8,5 \times 10^{-11}$ mol Na
56. *Ayrıntılı hesaplama yapmadan*, aşağıdakilerin hangisindeki atom sayısının en fazla olduğunu bulunuz; $6,022 \times 10^{23}$ Ni atomları, 25,0 g azot, 52,0 g Cr, 10,0 cm^3 Fe ($d = 7,86$ g/cm^3). Nedenini açıklayınız.
57. **(a)** 415,0 g çinko metali örneğindeki Zn nun mol sayısını

(b) 147,4 kg kromdaki Cr atomlarının sayısını
(c) bir trilyon ($1,0 \times 10^{12}$) altın atomunun kütlesini
(d) bir flor atomunun kütlesini bulunuz.

58. (a) 5,25 mg kripton örneğindeki Kr atomlarının sayısını
(b) Bir parçası $2,80 \times 10^{22}$ atom içeren bir elementin kütlesi 2,09 g ise, elementi mol kütlesini, M,
(c) 44,75 g magnezyum ile aynı atom sayısına taşıyan fosfor örneğinin kütlesini bulunuz.
59. 33,24 g ağırlığa sahip gümüş sterlinden yapılmış takıda kaç tane Cu atomu vardır?(gümüş sterlin ağırlıkça %92,5 gümüş içeren bir gümüş-bakır alaşımıdır.)
60. Yoğunluğu 9,4 g/cm^3 olan ve kütlece % 67 kurşun içeren bir kurşun-kalay alaşımının 75,0 cm^3 de kaç atom vardır?
61. 215 mg ağırlığındaki kurşun parçasında kaç tane ^{204}Pb atomu vardır? ^{204}Pb un yüzde doğal bolluğu %1,4 dür.
62. Özel bir kurşun-kadmiyum alaşımı kütlece %8,0 kadmiyum içermektedir. $6,50 \times 10^{23}$ tane Cd atomu içeren bir örnek elde etmek için, bu alaşımdan kaç gram tartmalısınız?
63. Doktorlar, kandaki kurşun düzeyinin 30 mg/dL değerini aştığı zaman hastalık riskinin doğacağını söylerler (1 dL =0 ,1 L). Bu kurşun düzeyini (a) mol Pb/L kan; (b) 1 mL kanda Pb atomları sayısı olarak belirtiniz.
64. Hava kirliliğinin arttığı bir anda kurşun derişiminin 3,01 μg Pb/m^3 olduğu söylenmiştir. Bu havanın 0,500 L sinde (yetişkin bir insanın yaklaşık akciğer kapasitesi) ne kadar Pb atomları bulunacaktır?
65. *Ayrıntılı hesaplama yapmadan,* aşağıdakilerin hangisindeki atom sayısının en fazla olduğunu bulunuz? (a) Kenar uzunluğu 10,0 cm olan bir demir küp (d = 7,86 g/cm^3) (b) 10,000 L balonda bulunan 1,00 kg hidrojen (c) 20,0 kg ağırlığında kükürt yığını (d) 76 lb sıvı cıva (d = 13,5 g/mL) (1 lb = 453,6 g).
66. *Ayrıntılı hesaplama yapmadan,* aşağıdakilerin hangisinin en fazla hacim kapladığını bulunuz?
(a) 25,5 mol sodyum metali (d = 0,971 g/cm^3)
(b) 0,725 L sıvı brom (d = 3,12 g/mL)
(c) $1,25 \times 10^{25}$ tane atom içeren krom metali (d = 9,4 g/cm^3) (d) 2:1 kurşun/kalay oranında ve 2,15 kg ağırlığında bir kurşun-kalay alaşımı (d = 9,4 g/ cm^3).

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

67. 2,50 g potasyum klorat (ateşleyici ve alevlendiricilerde kullanılır) 40 °C deki 100,0 mL suda çözülerek bir çözelti hazırlanmıştır. Çözelti 20 °C ye soğutulduğunda hacmi hala 100,0 mL de kalırken, bir miktar potasyum klorat kristallenmiştir (çözeltiden katı hale geçmiştir). 40 °C de suyun yoğunluğu 0,9922 g/mL ve 20 °C de potasyum klorat çözeltisinin yoğunluğu 1,0085 g/mL dir.
(a) Kristallenen potasyum kloratın kütlesini bulunuz? (Sonucu iki anlamlı rakamla veriniz).
(b) (a) daki yanıt niye daha fazla duyarlılıkta verilemez?
68. William Prout (1815), hidrojen atomunun kütlesini 1 kabul ederek ve diğer atomların kütlelerinin tamsayılar olduğunu varsayarak, bütün atomların hidrojenden "inşa edildiğini" ifade eden bir hipotez geliştirdi. Ancak, magnezyum (24,3 akb) ve klor (35,5 akb) gibi atom kütleleri saptandıktan sonra bu hipotezin geçerliliği olamayacağı gibi bir düşünce doğdu. Prout'un hipotezinin, şimdiki bilgilerimize göre, aslında çok mantıklı olduğunu gösteriniz.
69. Florun tek bir atom türü (Flor-19) vardır. Flor-19 un kütlesini, taşıdığı proton, nötron ve elektron sayılarını toplayarak hesaplayınız ve bulduğunuz değeri kitabın ön kapağının iç kısmında verilen değerle karşılaştırınız. Neden çok iyi uyuşmadığını açıklayınız.
70. Küresel hidrojen-1 çekirdeğinin çapını yaklaşık 1×10^{-13} cm kabul ederek ve Çizelge 2-1 deki verilerden yararlanarak, protondaki madde yoğunluğunu bulunuz.
71. Bölüm 1 ve 2 deki temel tanım ve ifadeleri kullanarak, $6,022 \times 10^{23}$ akb =1,000 g olduğunu gösteriniz?
72. Aşağıdaki elementleri belirleyiniz.
(a) Kütle numarası 234 ve nötron sayısı protondan %60,0 fazla olan element.
(b) Proton sayısı elektron sayısından % 10,0 fazla olan +2 yüklü iyon.
(c) Kütle numarası 110 ve nötron sayısı elektron sayısından %25,0 fazla olan +2 yüklü iyon.
73. Aşağıdaki her iki koşulu da sağlayan olası +2 yüklü iyonu belirleyiniz:
- Net iyon yükü çekirdek yükünün *onda biridir.*
- Nötron sayısı elektron sayısından *dört* fazla.

74. Aşağıdaki koşulları sağlayan izotopu (E) bulunuz:
- E nin kütle numarası atom numarasının 2,50 katıdır.
- E nin atom numarası başka bir izotopun (Y) kütle numarasına eşittir. Diğer taraftan, Y izotopunun nötron sayısı atom numarasının 1,33 katıdır ve selen –82 nin nötron sayısına eşittir.

75. Doğal klor izotopları karışımında atom kütlesini tam 35,00000 akb alarak, diğer atomların kütlelerini bu temele göre hesapladığınızı varsayınız.
(a) Bu durumda helyum, sodyum ve iyodun atom kütleleri ne olur?
(b) Bu elementlerin atom kütleleri karbon-12 ye göre tamsayıya yakın oldukları halde, niçin doğal klora göre tamsayı olmaktan uzaktır?

76. Doğada bulunan iki azot izotopunun kütleleri 14,0031 ve 15,0001 akb dir. Doğal azot içindeki azot-15 in atom yüzdesini bulunuz.
77. Civanın doğal izotoplarının kütleleri şöyledir. ^{196}Hg, 195,9658 akb; ^{198}Hg, 197,9668 akb; ^{199}Hg, 198,9683 akb; ^{200}Hg, 199,9683 akb; ^{201}Hg, 200,9703 akb; ^{202}Hg, 201,9706 akb ve ^{204}Hg, 203,9735 akb. Bu ve Şekil 2-14 deki verileri kullanarak, cıvanın ağırlıklı ortalama atom kütlesini hesaplayınız.
78. Germanyumun üç tane önemli doğal bolluğa sahip izotopu bulunmaktadır: ^{70}Ge (69,92425 akb, %20,85), ^{72}Ge (71,92208 akb, %27,54), ^{74}Ge (73,92118 akb, %36,29). Ayrıca iki tane de önemsiz izotopu bulunmaktadır: ^{73}Ge (72,92346 akb) ve ^{76}Ge (75,92140 akb). Bu iki önemsiz izotopun yüzde doğal bolluğunu hesaplayınız. Hesaplamalarınızı anlamlı rakamlarla veriniz.
79. Kripton gazının kütle spektrumu çizgilerinin yoğunluğundan yararlanılarak aşağıdaki veriler elde edilmiştir.
    - Atomların %50 den fazlası kripton-84 dür.
    - Kripton-82 ve kripton-83 atomları sayısı eşittir.
    - Kripton-86 atomlarının sayısı kripton-82 atomlarının sayısının 1,5 katıdır.
    - Kripton-80 atomlarının sayısı, kripton-82 atomlarının sayısının %19,6 sıdır.
    - Kripton-78 atomlarının sayısı, kripton-82 atomlarının sayısının %3,0 ü dür.

    İzotopların kütleleri şöyledir: ^{78}Kr, 77,9204 akb; ^{80}Kr, 79,9164 akb; ^{82}Kr, 81,9135 akb; ^{83}Kr, 82,9141 akb; ^{84}Kr, 83,9115 akb; ^{86}Kr, 85,9106 akb. Kr nun ağırlıklı ortalama atom kütlesi 83,80 dir. Bu verileri kullanarak, kripton izotoplarının yüzde doğal bolluklarını hesaplayınız.
80. Klorun iki doğal izotopu ^{35}Cl (34,9689 akb, %75,77) ve ^{37}Cl (36,9658 akb, %24,23) dir. Bromun iki doğal izotopu ^{79}Br (78,9183 akb, %50,69) ve ^{81}Br (80,9163 akb, %49,31) dir. Klor ve brom, brom monoklorür (BrCl) vermek üzere birleşirler. BrCl ün molekül kütlesine karşı bağıl molekül sayısı grafiğini Şekil 2-14 e benzer şekilde çiziniz.
81. 20 kalibrelik 1,00 m uzunluğundaki bakır telde kaç atom vardır? 20 kalibre telin çapı 0,03196 inç ve bakırın yoğunluğu 8,92 g/cm^3 tür. (1 inç = 2,54 cm)
82. Monel metali denen korozyona dayanıklı bakır-nikel alaşımı elektronik sanayisinde kullanılır. Kütlece %0,022 Si içeren ve yoğunluğu 8,80 g/cm^3 olan bu alaşımdan uzunluğu 15,0 cm, genişliği 12,5 cm ve kalınlığı 3,00 mm olan bir dikdörtgen plaka yapılıp, ortasına 2,50 cm çapında bir delik açılmaktadır. Bu plakada kaç tane silisyum-30 atomu bulunur? Silisyum-30 un kütlesi 29,97376 akb ve yüzde doğal bolluğu %3,10 dur.
83. Kimyasal çalışmalarda, bazen ^1H izotopu yerine döteryum ^2H (2,0140 akb) geçirilir. Döteryumun yüzde doğal bolluğu, % 0,015 dir. Yer değiştirme işlemi %100 oranında gerçekleşirse, $2,50 \times 10^{21}$ ^2H atom içeren bir örnek elde etmek için tepkimeye sokulan doğal hidrojen gazının kütlesi ne kadardır?
84. Suyun kaynama sıcaklığında eriyen bir alaşım, 10 : 6 : 5 oranında Bi, Pb ve Sn atomlarına sahiptir. Toplam 1 mol atom içeren alaşımın kütlesi nedir?
85. Özel bir gümüş lehimi (elektronik sanayisinde parçacıkları birleştirmekte kullanılır) 5,00 Ag/4,00 Cu/1,00 Zn *atom* oranında hazırlanır. 1,00 kg lehim hazırlamak için bu üç metalin kaçar gramı karıştırılıp eritilmelidir?
86. *Ötektik alaşım* adı verilen, düşük erime noktalı Sn-Pb-Cd alaşımı analiz ediliyor. Kalayın kurşuna *mol* oranı 2,73 : 1,00 ve kurşunun kadmiyuma *kütle* oranı 1,78 : 1,00 bulunuyor. Bu alaşımın kütlece yüzde bileşimi nedir?
87. Bir deneyde, 125 cm^3 çinko ve 125 cm^3 iyot karıştırılıyor ve iyot tamamen 164 cm^3 çinko iyodüre dönüşüyor. Tepkimeye girmeden kalan çinko hacmi nedir? Çinko, iyot ve çinko iyodürün yoğunlukları sırasıyla, 7,13 g/cm^3, 4,93 g/cm^3 ve 4,74 g/cm^3 dür.
88. Atomlar küreseldir ve gümüş atomları istiflenerek gümüş metalini oluştururlar ve bütün hacmi dolduramazlar. Bir gümüş metali örneğinde, örneğin %26,0 sı boş hacimdir. Bu örnekte gümüş metalin yoğunluğu, 10,5 g/cm^3 dür. Gümüş atomun çapı nedir? Yanıtınızı pikometre biriminden veriniz.

Özellikli Sorular

89. Lavoisier'in sayfa 35 de belirtilen deneyden elde ettiği veriler aşağıdaki gibidir:
    Isıtma öncesi: cam kap+kalay+hava
    =13 ons, 2 gros, 2,50 grain
    Isıtma sonrası: cam kap+beyaz toz+kalan hava
    =13 ons, 2 gros, 5,62 grain
    Lavoisier'in sonuçları kütlenin korunumu yasasına uymakta mıdır? (1 livre= 16 ons; 1 ons= 8 gros; 1 gros = 72 grain; 1 livre = 30,59 g.)
90. Aşağıda Millikan'nın yağ-damlası verilerinden bazıları görülmektedir. Ölçülen miktarlar yağ damlalarındaki gerçek yükler değil, ancak bu

yüklerle orantılıdır. Bu verilerin temel elektronik yük düşüncesiyle uyuştuğunu gösteriniz.

Gözlem	Ölçülen Büyüklük	Gözlem	Ölçülen Büyüklük
1	19,66	8	53,91
2	24,60	9	59,12
3	29,62	10	63,68
4	34,47	11	68,65
5	39,38	12	78,34
6	44,42	13	83,22
7	49,41		

91. 1961 den önce fizikçiler atom kütlesi için standart olarak ^{16}O izotopunu tam 16 alarak kullandılar. Aynı zamanda kimyacılar oksijenin doğal izotop karışımlarını, ^{16}O, ^{17}O ve ^{18}O, tam 16 kabul ettiler. 50 yıl önceki kitaplarda verilen atom kütlelerinin şimdiki kitaplarda verilenlerle aynı mı, daha düşük mü ya da daha yüksek mi olmasını beklersiniz? Açıklayınız.
92. Alman kimyacı Fritz Haber, I. Dünya savaşı sonrasında Almanya'ya karşı istenen tazminatı deniz suyundan altın elde ederek ödemeyi önerdi. Şu bilgilere göre: **(a)** tazminat miktarı 28,8 milyar dolar, **(b)** o yıllarda bir troy ons altın 21,25 dolar (1 troy ons=31,103 g) ve **(c)** bir ton deniz suyundaki altın miktarı $4,67 \times 10^{17}$ altın atomu (1 ton=2000 lb) dur. Gerekli altın miktarını elde etmek için, kaç kilometreküp deniz suyunun işlenmesi gerekirdi? Deniz suyu yoğunluğunu 1,03 g/cm^3 kabul ediniz (Haber'in projesinin ticari olarak mümkün olmadığı ispatlanmış ve tazminatlar asla tam olarak ödenmemiştir).
93. Kütle spektrometresi kimyasal analizlerde kullanılan en faydalı ve güçlü cihazlardan birisidir. Çünkü farklı kütlelerdeki atomları ayırabilme özelliğine sahiptir. İzotop karışımlarını içeren bir örnek kütle spektrometresine verildiğinde, elde edilen pik oranları izotopların doğal bollukların yansıtır. Bu oran örnek içerisindeki izotopun miktarının belirlenmesine olanak sağlar. Miktar tayini için, tayin edilecek izotopun aynısından bilinen bir miktar örneğe ilave edilir. Örnekteki izotopun piki ile standart ilavesinden sonraki pik arasındaki orandan miktar tayinine geçilir.

Bir kaya örneği rubidyum içeriğini tayin amacıyla analiz edilmektedir. 0,350 g kaya örneğindeki rubidyum özütlenmiş ve buna dışarıdan 29,45 μg ^{87}Rb ilave edilmiştir. Bu ilaveli örneğin kütle spektrumundan ^{85}Rb pikinin 1,12 katı olan ^{87}Rb piki elde edilmiştir. Her iki izotopun kimyasal özdeşliği kabul edilirse, kayadaki Rb içeriği nedir (kütlece milyonda bir olarak)? Doğal bollukları ve izotop kütleleri çizelgede verilmiştir.

İzotop	% Doğal Bolluk	Atom Kütlesi (akb)
^{87}Rb	27,83	86,909
^{85}Rb	72,17	84,912

Kendi Kendini Deneme Soruları

94. Aşağıdaki terim ve simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız: **(a)** $^{A}_{Z}E$ **(b)** β parçacığı; **(c)** izotop; **(d)** ^{16}O; **(e)** mol kütlesi.
95. Aşağıdaki kavramları kısaca tanımlayınız.
(a) kütlenin korunumu yasası.
(b) Rutherford atom modeli.
(c) ağırlıklı ortalama atom kütlesi.
(d) kütle spektrumu.
96. Terimler arasındaki farkları belirtiniz.
(a) katot ışını ve X-ışını.
(b) proton ve nötron.
(c) çekirdek yükü ve iyon yükü.
(d) periyot ve grup.
(e) metal ve ametal.
(f) Avogadro sabiti ve mol.
97. 10,0 g çinko ve 8,0 g kükürt tepkimeye sokuluyor ve çinkonun tamamı harcanıyor, 14,9 g çinko sülfür oluşuyor ve tepkimeye girmeden kalan kükürt kütlesi
(a) 2,0 g dır.
(b) 3,1 g dır.
(c) 4,9 g dır.
(d) sadece bu bilgiden saptamak mümkün değildir.
98. Bir rubidyum oksit, Rb gramı başına 0,187 g O içeriyor. Rubidyumun ikinci bir oksidinin olası O:Rb kütle oranı, **(a)** 16:85,5; **(b)** 8:42,7; **(c)** 1:2,674; **(d)** bunlardan hiçbiri.
99. Katot ışınları
(a) pozitif veya negatif yüklü olabilir.
(b) görünür ışığa benzer bir elektromanyetik ışıma oluşturur.
(c) β taneciklerine özdeş özelliklere sahiptir.
(d) onu yayan katoda bağlı olan kütleye sahiptir.
100. İnce metal levhadan α taneciklerinin saçılması, aşağıdaki şıklardan hangisini kanıtlar?
(a) bir atom kütlesinin pozitif yüklü çekirdekte yoğunlaştığını,
(b) elektronların bütün maddeler için temel yapı taşı olduğunu,
(c) bütün elektronların aynı yükü taşıdığını,
(d) atomların elektrikçe nötür olduğunu.
101. Aşağıdakilerden hangisi aynı yüke ve kabaca aynı kütleye sahiptir?
(a) elektron ve proton.
(b) proton ve nötron.
(c) hidrojen atomu ve proton.
(d) nötron ve hidrojen atomu.
(e) elektron ve H^- iyonu.

102. 18 nötron, 17 proton ve 16 elektron içeren türün doğru simgesi nedir?

103. Magnezyumun özellikleri aşağıdakilerden hangisine en çok benzer? **(a)** sezyum; **(b)** sodyum; **(c)** aluminyum; **(d)** kalsiyum; **(e)** mangan.

104. Baş grup elementlerini içeren gruplardan, hangi grup: **(a)** ne metal ne de yarı-metal içerir **(b)** sadece bir metal ya da bir yarı-metal içerir **(c)** sadece bir ametal içerir **(d)** sadece ametalleri içerir?

105. Aşağıdakilerden hangi iki tür ^{32}S ile aynı elektron sayısına sahiptir?
(a) ^{32}Cl; **(b)** $^{34}S^{+}$; **(c)** $^{33}P^{+}$; **(d)** $^{28}Si^{2-}$; **(e)** $^{35}S^{2-}$; **(f)** $^{40}Ar^{2+}$; **(g)** $^{40}Ca^{2+}$

106. Aşağıdaki kütleler, sadece biri hariç, dört anlamlı rakam ile tek bir titanyum atomu için mümkündür. Hariç olan **(a)** 45,95 akb; **(b)** 46,95 akb; **(c)** 47,87 akb; **(d)** 47,95 akb; **(e)** 48,95 akb; **(f)** 49,94 akb dir.

107. $^{84}_{36}Xe$ izotopunun kütlesi, 83,9115 akb dir. Eğer atom kütle ölçeği, *tam* $^{84}_{36}Xe$ = 84 akb olarak yeniden tanımlansaydı, $^{12}_{6}C$ izotop kütlesi ne olurdu? **(a)** 11,9115 akb; **(b)** 11,9874 akb; **(c)** tam 12 akb; **(d)** 12,0127 akb; **(e)** 12,0885 akb.

108. 5,585 kg demir örneği içeriği için aşağıdaki şıklardan hangisi doğrudur?
(a) 10,0 mmol Fe
(b) 600,6 g C nun iki katı kadar atom
(c) 52,00 g Cr un 10 katı kadar atom
(d) $6,022 \times 10^{24}$ atom

109. Üç tane yaygın olarak bilenen demir-oksijen bileşiği vardır. Bunlardan biri, her oksijen atomu için bir demir içeren ve formülü FeO olan en büyük demir oranına sahip bileşiktir. İkincisi, her 1,000 g O için 2,327 g Fe ve üçüncüsü de her 1,000 g O için 2,618 g Fe e sahiptir. Son iki demir-oksijen bileşiğinin formülü nedir?

110. Dört doğal bolluğa sahip stronsiyum izotopları 83,9134 akb; 85,9093 akb; 86,9089 akb ve 87,9056 akb atom kütlelerine sahiptir. En hafif izotopun doğal bolluğu % 0,56 ve en ağır izotopun % 82,58 dir. Diğer ikisinin yüzde doğal bolluğunu bulunuz. Niçin bu sonuç sadece kaba bir tahmindir?

111. Altın deniz suyunda 0,15 mg/ton oranında bulunmaktadır. Deniz suyunun yoğunluğu 1,03 mg/mL olarak kabul edilmektedir. 0,250 L deniz suyundan ne kadar Au atomu çıkartılabilir? (1 ton= $2,000 \times 10^{3}$ lb; 1kg = 2,205 lb).

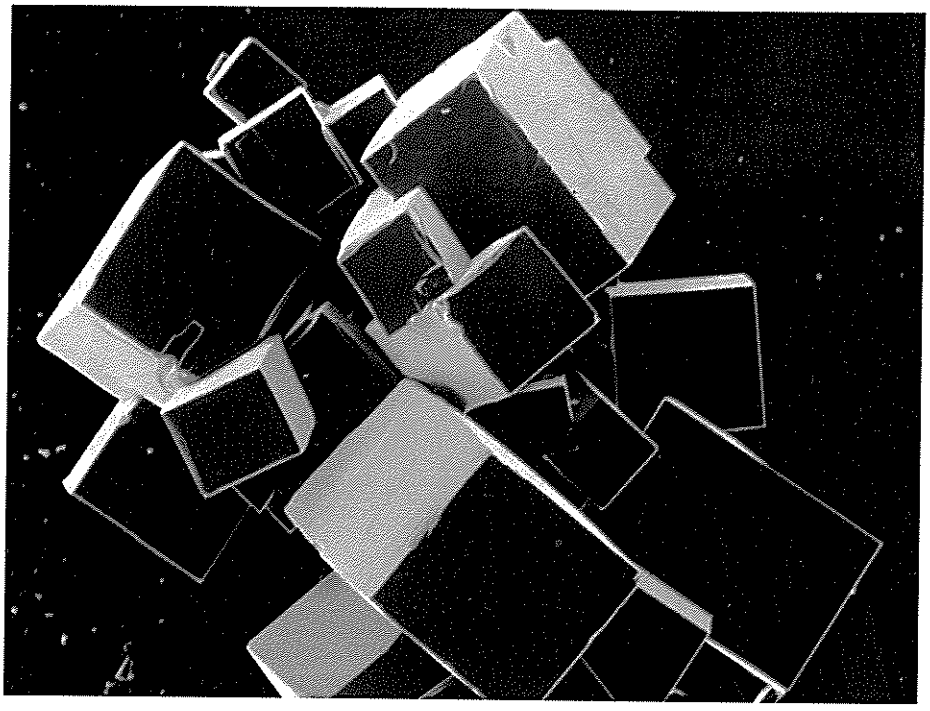
112. Ek E, kavram haritası olarak bilinen çok kullanışlı bir çalışmayı açıklar. Ek E deki bu yöntemi kullanarak, Kesim 2-7 ve 2-8 deki farklı kavramları gösteren bir kavram haritası oluşturunuz.

3

Kimyasal Bileşikler

İÇİNDEKİLER

3-1 Kimyasal Bileşik Çeşitleri ve Formülleri
3-2 Mol Kavramı ve Kimyasal Bileşikler
3-3 Kimyasal Bileşiklerin Bileşimi
3-4 Yükseltgenme Basamakları: Kimyasal Bileşiklerin Açıklanmasında Yararlı Bir Kavram
3-5 Bileşiklerin Adlandırılması: Organik ve İnorganik Bileşikler
3-6 İnorganik Bileşiklerin Adları ve Formülleri
3-7 Organik Bileşiklerin Adları ve Formülleri



Sodyum klorür kristallerinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüsü. Bu bölümde kimyasal bileşikler ve bu bileşiklerin formülleri ve adları anlatılmaktadır.

Su, amonyak, karbon monoksit ve karbon dioksit, hepimizin bildiği, oldukça basit kimyasal bileşiklerdir. Daha az bildiğimiz şeker (şeker kamışı şekeri), asetilsalisilik asit (aspirin) ve askorbik asit de (C-vitamini) kimyasal bileşiklerdir. Aslında, kimya çalışmalarının büyük bir kısmı kimyasal bileşiklerle ilgilidir. Bu bölümde kimyasal bileşikler hakkında çeşitli kavramları inceleyeceğiz.

Bütün bileşiklerin genel bir özelliği, iki ya da daha fazla elementten oluşmalarıdır. Bütün bileşikler, elementlerin periyodik çizelgedeki özelliklerinden yararlanılarak birkaç sınıfa ayrılabilirler. Bileşikler kendilerini oluşturan elementlerin simgelerini içeren kimyasal formüllerle gösterilirler. Bu bölümde, kimyasal formüllerin nasıl bulunacağını ve yazılacağını, ayrıca kimyasal formüllerdeki bilgilerin nasıl kullanılacağını öğreneceksiniz. Bu bölüm adlar ve formüller arasındaki ilişki, yani kimyasal adlandırma ile sonlanacaktır.

3-1 Kimyasal Bileşik Çeşitleri ve Formülleri

Kimyasal bileşiklerde atomları birarada tutan iki temel kimyasal bağ vardır: Atomlar arasında elektron ortaklaşması ile oluşan ve molekül yapısında bileşikleri meydana getiren *kovalent bağlar;* atomların birbirlerine elektron aktarması ile oluşan ve iyonik bileşikleri veren *iyonik bağlar.* Bu bölümde, kitabın ilk bölümlerinde yararlanmak üzere sadece molekül bileşiklerin ve iyonik bileşiklerin temel özellikleri ele alınacak ve bağlanma çeşitleri sonraki bölümlerde, Bölüm 10 ve 11 de ayrıntılı olarak incelenecektir.

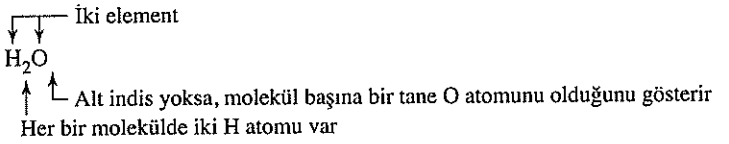
◀ İleride kimyasal bağları incelerken, kovalent ve iyonik bağlanmanın bu kadar kesin ayrılmadığını göreceğiz. Bu konu Bölüm 10 da ele alınacaktır.

Molekül Bileşikler

Bir **molekül bileşik, molekül** adı verilen bağımsız birimlerden oluşur. Bu moleküllerde az sayıda *ametal* atomları kovalent bağlarla bir arada tutulurlar. Molekül yapısındaki bir bileşiği göstermek için, **kimyasal formül** kullanılır. Kimyasal formül simgelerle gösterilir ve bu formül

- bileşikte bulunan elementleri
- her bir elementin bağıl atom sayısını belirtir.

Aşağıda verilen suyun formülünde, elementler simgeleri ile gösterilmiş, atomların bağıl sayıları *alt indis* şeklinde yazılmıştır. İndiste rakam yoksa bu 1 anlamındadır.

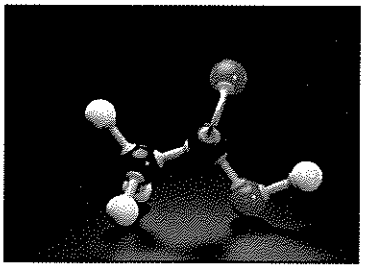


Kimyasal formüle bir başka örnek, karbon tetraklorür bileşiğini simgeleyen CCl_4 dür. H_2O ve CCl_4 formülleri bağımsız birimleri, yani *molekülleri* gösterir. Bu nedenle su ve karbon tetraklorürü molekül bileşikler olarak belirtebiliriz.

Kaba formül bir bileşik için en basit formüldür; bileşikteki atomları ve bunların bağıl sayılarını gösterir. Kaba formüldeki indisler en basit tamsayı oranı şeklinde verilir. Örneğin, P_2O_5, bileşiğin kaba formülü olup, molekül formülü P_4O_{10} dur. Genelde kaba formül bileşik hakkında ayrıntılı bilgi vermez. Asetik asit ($C_2H_4O_2$), formaldehit (CH_2O bazı plastiklerin ve reçinelerin yapımında kullanılır) ve glukozun ($C_6H_{12}O_6$, kan şekeri) kaba formülleri CH_2O dur.

Molekül formülü bileşiğin gerçek formülüdür. Bazı durumlarda kaba ve molekül formülleri, formaldehitte CH_2O olduğu gibi aynıdır. Diğer durumlarda, molekül formülü kaba formülün katlarıdır. Örneğin, asetik asit iki C atomu, dört H atomu ve iki O atomu olmak üzere toplam sekiz atom içerir ve molekül formülü $C_2H_4O_2$ dir. Bu, kaba formüldeki (CH_2O) atom sayısının iki katıdır. Kaba ve molekül formülleri bileşikteki atomların birleşme oranını açıklar, ancak atomların birbirlerine nasıl bağlandıklarını açıklamaz. Diğer tip formüller ise ek bilgiler verirler. Şekil 3-1 de, sirkeye ekşi tadını veren asetik asidin değişik formül yazılışları görülmektedir.

Yapı formülü (yapısal formül), bir moleküldeki atomların birbirlerine hangi bağ türleriyle nasıl bağlandıklarını gösterir. Buna göre, asetik asidin yapı formülü üç H atomunun bir C atomuna, diğer H atomunun bir O atomuna bağlandığını belirtir. Her iki O atomunun da bir C atomuna, C atomlarının da birbirlerine bağlandığını gösterir. Yapı formülündeki ko-

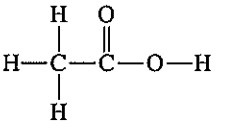


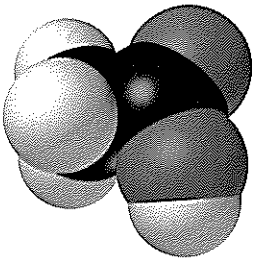
Molekül modeli
("top-çubuk")

Kaba formül: CH_2O

Molekül formülü: $C_2H_4O_2$

Yapı formülü:





Molekül modeli
("uzay-dolgu")

▲ ŞEKİL 3-1
Asetik asit bileşiğinin değişik formülleri
Molekül modelinde siyah küreler karbonu, kırmızılar oksijeni ve beyazlar hidrojeni simgeler. Hidrojenlerden birinin davranış bakımından diğerlerinden farklı olduğunu göstermek için, asetik asit formülü çoğu kez $HC_2H_3O_2$ şeklinde yazılır (Kesim 5-3). Bu H atomunun oksijene bağlı olduğunu belirtmek için CH_3COOH ya da CH_3CO_2H biçiminde de yazılabilir. Aynı bileşiğin formülü farklı kaynaklarda farklı biçimde yazılmış olabilir.

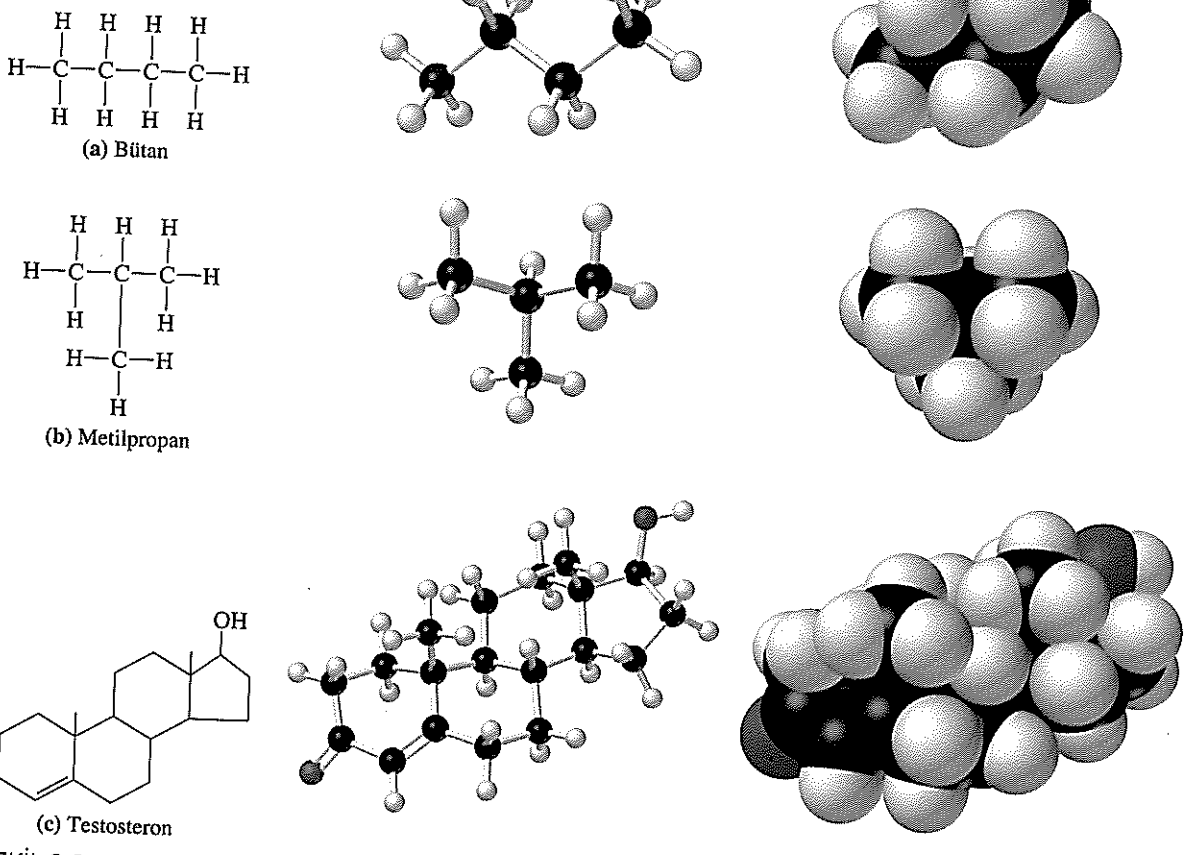
valent bağlar çizgilerle (—) verilir. Bağlardan biri çift çizgiyle (═) yazılır ve *ikili* kovalent bağ adını alır. Tekli ve ikili bağlar arasındaki farkı ileride anlatacağız. Şimdilik ikili bağın tekli bağdan daha kuvvetli olduğunu söylemekle yetinelim.

Asetik asit molekülünde atomların nasıl bağlandığını göstermenin daha kolay ve başka bir yolu **yoğunlaşmış yapı formülünü**, yani CH_3COOH ya da CH_3CO_2H formüllerini kullanmaktadır. Bu formülde, H atomlarının farklı bağlanma şekilleri görülebilir ve formül tek bir satırda yazılabilir.

Yoğunlaşmış yapı formülleri, atom gruplarının başka atomlara nasıl bağlandıklarını göstermektede kullanılabilir. Yapı formülü Şekil 3-2(b) de verilen metilpropanı, C_4H_{10}, ele alalım. Yapı formülünde merkez karbon atomuna bağlı $—CH_3$ grupları görülmektedir. Merkez karbon atomuna bağlı $—CH_3$ grupları, yoğunlaşmış yapı formülünde grubun bağlı olduğu atomun sağına parantez açarak gösterilebilir, yani $CH_3CH(CH_3)CH_3$ şeklinde yazılabilir. Merkez C atomu diğer üç C atomuna bağlı olduğu için yoğunlaşmış formülü $CH(CH_3)_3$ şeklinde de yazabiliriz.

Organik bileşiklerin temel elementleri karbon ve hidrojendir. Ayrıca çoğu organik bileşikler, karbon ve hidrojen yanında temel olarak oksijen ya da azot veya her ikisini de içerirler. Karbon atomu her zaman *dört tane kovalent bağ* yapar. Organik bileşikler çok karmaşık olabilirler. Yapı formüllerini basite indirgemenin bir yolu, yapıları C ve H atomlarını açıkça göstermeden çizgi-açı formülü ile yazmaktır. Bunu kimyasal bağları belirtmek için çizgiler çizerek ve çizginin bittiği veya başka bir çizgi ile karşılaştığı yerde bir karbon atomunun bulunduğunu ve her bir karbon atomunun dört bağ yapma gerekliliğini de, yeterli hidrojenle sağladığını varsayarak yaparız. Diğer atomların ve atom guruplarının simge ve formüllerini, bunları karbon atomlarına bağlayan bağ çizgilerini de açıkça çizerek gösteririz. Erkeklik hormonu olan testosteron molekülü böyle bir formülle Şekil 3-2(c) de gösterilmiştir.

Son olarak, moleküller uzayda yer işgal ederler ve üç-boyutlu bir şekilleri vardır. Kaba formüller ve molekül formülleri, atomların uzayda yönlenmeleri hakkında bilgi vermezler. Yapı formülleri bazen bu yönlenmeyi gösterebilir, ancak moleküllerin üç-boyutlu yapılarını göstermenin tek uygun yolu modeller oluşturmaktır. *Top-çubuk modelinde*, bağ yapan atomlar küçük toplarla ve atomlar arasındaki bağlar çubuklarla gösterilir (Şekil 3-1e bakınız). Böyle modeller atomların merkezleri arasındaki uzaklıkları (bağ uzunluklarını) ve moleküllerin geometrik şekillerini algılamamıza



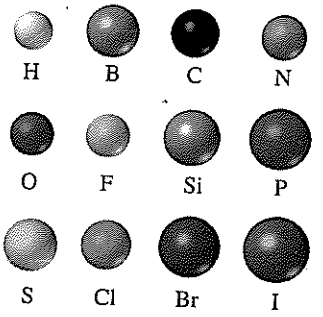
▲ ŞEKİL 3-2
(a) bütan, (b) metilpropan, (c) testosteronun gösterimleri

yardımcı olur. Top-çubuk modeli çizilmesi ve açıklanması kolay bir modeldir, ancak yanıltıcı olabilirler, çünkü moleküldeki atomlar top-çubuk modelinde belirtildiği kadar uzak değildirler, birbirlerine değmektedirler.

Uzay-dolgu modeli moleküldeki atomların yer işgal ettiklerini ve birbirlerine gerçekten değdiklerini gösterir. Özel olarak hazırlanmış bilgisayar programları Şekil 3-1 ve 3-2 de gösterilen uzay-dolgu modellerini verebilir. Uzay-dolgu modeli ölçekli yapıldığı için, molekülün şeklini ve büyüklüğünü en doğru olarak gösteren (yani, nanometre büyüklüğündeki molekülü milimetre veya santimetreye büyüten) bir modeldir.

Asetik asit molekülü üç çeşit atomdan oluşmuştur (C, H ve O) ve molekülün modelleri bu gerçeği yansıtır. Değişik atom tiplerini ayırdetmek için, top-çubuk ve uzay-dolgu modellerinde genellikle renkli toplar kullanırız (Şekil 3-3 e bakınız). Renkli kürelerin farklı büyüklüklerde olduklarını dikkatinizi çekecektir. Bu da periyodik çizelgedeki atomların farklı büyüklükte olmasından dolayıdır.

Moleküllerin yukarıda tartışılan değişik gösterimleri bu kitap boyunca kullanılacaktır. Aslında moleküllerin büyüklük ve şekillerinin gözde canlandırılması ve kimyasal ve fiziksel özelliklerin buna göre açıklanması, modern kimyanın en önemli konularından biridir.



▲ ŞEKİL 3-3
Molekül modellerinde kullanılan renkler
Atom büyüklükleri, Kesim 9-3 de anlatıldığı gibi, elementlerin periyodik çizelgedeki yerlerine bağlı olup, şekilde farklı renklerdeki topların büyüklükleri ile gösterilmiştir.

3-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

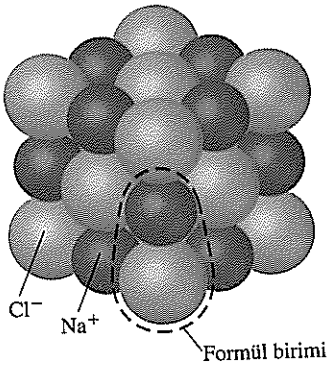
Süksinik asit molekülünü, $HOOCCH_2CH_2COOH$, kaba, molekül, yapı ve çizgi-açı formülleriyle gösteriniz.

İyonik Bileşikler

Bir metal ile bir ametalin kimyasal olarak birleşmesi genellikle *iyonik bir bileşik* verir. ***İyonik bileşik*** pozitif ve negatif iyonların elektrostatik çekim kuvveti ile bir araya gelmesinden oluşur (zıt yüklü maddelerin çekiminin Şekil 2-4 de gösterildiğini hatırlayınız). Metal atomları, ametal atomları ile birleştiği zaman, bir ya da daha fazla elektron kaybetme, ametal atomları da bir ya da daha fazla elektron alma eğilimindedirler. Bu elektron aktarımının sonucu olarak, metal atomu pozitif iyon (**katyon**) ve ametal atomu negatif iyon (**anyon**) haline gelir. Genelde baş grup elementlerinin katyon ve anyonlarının yüklerini, elementlerin ait oldukları grupların numaralarından (Kesim 2-6) bulabiliriz, yani periyodik çizelge iyonik bileşiklerin formüllerini yazmamıza yardımcı olur.

Bildiğimiz sofra tuzu, sodyum klorür, oluşurken sodyum atomu bir elektron vererek sodyum iyonu, Na^+ ve klor atomu bir elektron alarak klorür iyonu, Cl^- haline geçer. Bu durum, periyodik çizelgede elementlerin bulundukları yerleri ve iyonların yükleri arasındaki ilişkiyi doğrular (sayfa 53 e bakınız). NaCl yapısı Şekil 3-4 de gösterilmiştir. Sodyum klorürün elektrikçe nötür olması için bir Na^+ a karşılık bir Cl^- iyonu gerekli-dir ($+1 - 1 = 0$) ve bileşiğin formülü NaCl dir.

NaCl yapısında Na^+ iyonu altı Cl^- iyonu ile (veya tersi) çevrilmiştir. Bu altı Cl^- iyonundan belirli birinin Na^+ iyonuna ait olduğunu söyleyemesek de, Cl^- iyonunun Na^+ iyonuna oranı 1:1 dir. Bir Cl^- iyonunun bir Na^+ iyonuna karşılık geldiğini kabul eder ve NaCl yi formül birimi olarak seçeriz. **Formül birimi** bileşikte bağımsız bir birimi değil, iyonların en küçük oranını belirtir. Formül birimindeki atomların (iyonların) oranı kimyasal formüllerindeki oranla aynıdır. İyonik bir bileşiğin formül birimi, kristal adı verilen ve iyonlardan oluşan çok büyük bir ağ örgüsü içinde bulunur, moleküler bileşikler de olduğu gibi kendi başına bağımsız bir birim olarak bulunmaz. Bu nedenle katı sodyum klorürün formül birimine molekül diyemeyiz.



▲ ŞEKİL 3-4
NaCl ün bir formül birimi ve iyonik kristalinden bir kesit
Katı sodyum klorür, kristal denilen büyük bir örgü içinde, çok sayıda Na^+ ve Cl^- iyonları içerir. İyonların en küçük oranları, bire bir oranında olduğundan, formül birimi olarak NaCl yazabiliriz.

Magnezyum klorür için de durum benzer şekildedir. Sofra tuzunda az miktarda safsızlık olarak bulunan magnezyum klorürde, magnezyum atomları iki elektron kaybederek magnezyum iyonları, Mg^{2+} (Mg grup 2 de dir) haline gelir. Elektrikçe nötür formül birimini elde etmek için, her bir Mg^{2+} iyonu için yükleri -1 olan iki Cl^- iyonu gerekir. Magnezyum klorürün formülü $MgCl_2$ dir.

Na^+, Mg^{+2} ve Cl^- *tek atomlu* iyonlardır ve bir tek iyonlaşmış atom içerirler. Oysa iki veya daha fazla atomdan oluşmuş *çok atomlu* iyonlar da vardır. Tek bir nitrat iyonunda, NO_3^- indisler *bir* N atomuna *üç* O atomunun bağlandığını gösterir. Magnezyum nitrat, magnezyum ve nitrat iyonlarından oluşan iyonik bir bileşiktir. Bu bileşiğin elektrikçe nötür formül birimi, bir Mg^{2+} ve iki NO_3^- iyonu içermelidir. Bu formül birimine göre bileşiğin formülünde NO_3^- parantez içinde gösterilir ve indis olarak 2 yazılır. Buna göre, magnezyum nitratın formülü $Mg(NO_3)_2$ dir. Çok atomlu iyonlar Kesim 3-6 da ayrıntılı olarak incelenmektedir.

3-1 MERAK EDİYORSANIZ...

Acaba farklı metal atomları arasında bileşik oluşabilir mi?

Bir metalde, atomların elektronları *metal bağları* oluşturmak üzere etkileşirler. Bağ yapan atomlar genellikle aynı elementin atomlarıdır, ancak farklı elementin atomları da olabilirler. Bu durumda *metaller arası* bileşikler oluşur. Metal bağları, metallere ve metaller arası bileşiklere kendilerine özgü elektrik ve ısı iletkenliği özelliklerini verirler. Bu bağlar Bölüm 11 de incelenmektedir.

3-2 Mol Kavramı ve Kimyasal Bileşikler

Bir bileşiğin kimyasal formülü bilindiğinde, formül kütlesi kolayca tayin edilebilir. **Formül kütlesi** bir *formül biriminin* atom kütle birimi cinsinden kütlesidir. Formül kütlesi terimini kullanmak her zaman geçerli olmakla birlikte, molekül yapısında bir bileşiğin formül birimi gerçek molekülü gösterdiğinden, bu onun molekül kütlesidir diyebiliriz. **Molekül kütlesi** atom kütle birimi cinsinden bir **molekülün** kütlesidir.

◀ *Formül ağırlığı* ve *molekül ağırlığı* terimleri sıklıkla formül kütlesi ve molekül kütlesi yerine kullanılırlar. Bu durum, sayfa 48 deki dipnotta anlatılan atom kütlesi ve atom ağırlığına benzer.

Ağırlıklı ortalama formül ve molekül kütleleri, ağırlıklı ortalama atom kütlelerinin (ön kapak sayfasının arkasında) toplanması ile bulunabilir. Bu amaçla, molekül yapısında bir bileşik olan suyu, H_2O, inceleyelim.

$$\begin{aligned} H_2O \text{ nun molekül kütlesi} &= 2\,(\text{H nun atom kütlesi}) + (\text{O nun atom kütlesi}) \\ &= 2(1{,}00794 \text{ akb}) + 15{,}9994 \text{ akb} \\ &= 18{,}0153 \text{ akb} \end{aligned}$$

İyonik bir bileşik olan magnezyum klorür, $MgCl_2$ için:

$$\begin{aligned} MgCl_2 \text{ nin formül kütlesi} &= \text{Mg un atom kütlesi} + 2(\text{Cl nin atom kütlesi}) \\ &= 24{,}3050 \text{ akb} + 2(35{,}453 \text{ akb}) \\ &= 95{,}211 \text{ akb} \end{aligned}$$

◀ *Formül kütlesi* ve *molekül kütlesi* temelde aynı anlamdadır. Ancak NaCl ve $MgCl_2$ gibi iyonik bileşiklerde formül kütlesi terimi daha uygundur.

İyonik bir bileşik olan $Mg(NO_3)_2$ için: formül kütlesi

$$\begin{aligned} &= (\text{Mg un atom kütlesi}) + 2\,(\text{N un atom kütlesi} + 3\,(\text{O nin atom kütlesi}) \\ &= 24{,}3050 \text{ akb} + 2\,[14{,}0067 \text{ akb} + 3\,(15{,}9994 \text{ akb})] \\ &= 148{,}3148 \text{ akb} \end{aligned}$$

Bileşiğin Molü

Bölüm 2 de molü tanımlarken karbon –12 yi temel almış ve tam 12 g saf karbon-12 nin içerdiği atom sayısı kadar taneciğin miktarına bir mol demiştik. Her ne kadar tanımda atom taneciği sözü geçiyorsa da, tanımdaki tanecik sözü ile yalnızca atomların kastedilmediği açıkça görülmektedir. Buna göre mol kavramı atom, iyon, formül birimi ve molekül gibi bir simge ya da formül ile gösterilebilen birimlere uygulanabilir. Tam olarak bir mol bileşik, Avogadro sayısı ($6{,}02214 \times 10^{23}$) kadar formül birimi ya da molekül içeren bileşik miktarıdır. **Mol kütlesi** ise molekül yapısında bileşiğin bir mol molekülünün ya da iyonik bileşiğin bir mol formülünün kütlesidir.

UNUTMAYINIZ

Molekül kütlesi ve *mol kütlesi* terimlerinin söyleniş-leri birbirine yakın gibi gözükse de, bunlar birbirlerinden çok farklı anlamlarda kullanılırlar. Molekül kütlesi, bir molekülün kütlesidir ve akb ile ifade edilir. *Mol kütlesi* ise molekül kütlesinin Avogadro sayısı ile çarpılmasından elde edilir ve g/mol olarak verilir. İkisi de aynı sayısal değere sahiptirler, ancak farklı birimde ifade edilirler.

H_2O nun molekül kütlesi, karbon-12 nin atom kütlesi 12 akb kabul edildiğinde, 18,0153 akb olduğundan, bu sayıları Avogadro sayısı ile çarptığımızda karbon -12 nin mol kütlesini 12 g, H_2O nun mol kütlesini 18,0153 g H_2O/mol H_2O buluruz. Eğer bir bileşiğin formülünü bilirsek, aşağıda H_2O, $MgCl_2$ ve $Mg(NO_3)_2$ için verilen eşitliklere benzer eşitlikler yazabiliriz.

$$1 \text{ mol } H_2O = 18{,}0153 \text{ g } H_2O = 6{,}02214 \times 10^{23} \text{ } H_2O \text{ molekülü}$$

$$1 \text{ mol } MgCl_2 = 95{,}211 \text{ g } MgCl_2 = 6{,}02214 \times 10^{23} \text{ } MgCl_2 \text{ formül birimi}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol } Mg(NO_3)_2 &= 148{,}3148 \text{ g } Mg(NO_3)_2 \\ &= 6{,}02214 \times 10^{23} \text{ } Mg(NO_3)_2 \text{ formül birimi} \end{aligned}$$

Bu gibi eşitlikler, çeşitli soruların çözülmesinde kullanılabilen farklı çevirme faktörlerinin bulunmasına yardımcı olurlar. Belirli bir sorunun yanıtlanmasında, izlenebilecek en iyi yollardan biri, hangi çevirmelerin nasıl yapılabileceğini araştırmaktır. Bölüm 2-7 de gördüğümüz gibi, mol cinsinden madde miktarına en kestirme yol, gram cinsinden madde mikta-

rından geçer. Bu işlemin esası, kütlenin gramdan mol miktarına çevrilmesi ya da tersidir. Yapılan bu çevirme hacim, yoğunluk, yüzde vs. gibi diğer çevirmelerden önce ya da sonra gelir. Bölüm 2 de gördüğümüz gibi, bir çevirme yolu kurmak, soru çözmede yararlı bir yoldur. Çizelge 3-1 de yoğunluk, mol kütlesi ve Avogadro sayısının çevirme yolu kurmaktaki rolü özetlenmiştir.

ÇİZELGE 3.1 Çevirme Faktörü Olarak, Yoğunluk, Mol Kütlesi ve Avogadro Sayısı

Yoğunluk, d	hacmi kütleye çevirir
Mol kütlesi, M	kütleyi miktara (mol) çevirir
Avogadro sayısı, N_A	miktarı (mol) temel öğelere çevirir

ÖRNEK 3-1 İyonik Bir Bileşiğin Mol Kütlesi, Avogadro Sayısı ve Formül Birimi Arasındaki İlişki

Bir analitik terazi 0,1 mg lık bir kütleyi tartabilir. $MgCl_2$ ün analitik teraziyle tartılabilen bu miktarında iyonların toplam sayısı nedir?

Analiz

Odak noktamız ölçülmüş olan madde miktarının, 0,1 mg $MgCl_2$, mol cinsine dönüştürülmesidir. mg ⟶ g çevirmesini yaptıktan sonra, $MgCl_2$ miktarını mol cinsinden ifade etmek için mol kütlesinden yararlanırız. Sonra, mol sayısını Avogadro sayısı yardımıyla formül birimi sayısına çevirirız. $MgCl_2$ formül biriminde üç iyon (bir Mg^{2+} ve iki Cl^-) bulunduğunu gözönüne alarak, soruyu yanıtlarız. Daha önce söylediğimiz gibi, bize verilen verilerden istenilene doğru bir çevirme yolu haritası çıkarmak genellikle faydalı bir işlemdir. Aslında bu çevirme daha kolay bir yolla da yapılabilir. Şimdilik çözeceğimiz soruda $MgCl_2$ ün miligramından başlayarak aşağıdaki çevirmeleri yapabiliriz.

$$\text{mg} \longrightarrow \text{g} \longrightarrow \text{mol} \longrightarrow \text{formül birimi (fb)} \longrightarrow \text{iyon sayısı}$$

Çözüm

Gerekli çevirmeler adım adım yapılabildiği gibi (Örnek 2-9), birleştirilip hepsi tek bir işlemde de toplanabilir. Ara sonuçları yazmamak ve yuvarlama hatalarından kaçınmak için bu problemde çevirmeler toplu halde, aynı çizgi üzerinde yapılacaktır.

$$? \text{ iyon} = 0{,}1 \text{ mg } MgCl_2 \times \frac{1 \text{ g } MgCl_2}{1000 \text{ mg } MgCl_2} \times \frac{1 \text{ mol } MgCl_2}{95 \text{ g } MgCl_2} \times \frac{6{,}0 \times 10^{23} \text{ fb } MgCl_2}{1 \text{ mol } MgCl_2} \times \frac{3 \text{ iyon}}{1 \text{ fu } MgCl_2}$$

$$= 2 \times 10^{18} \text{ iyon}$$

Değerlendirme

Örnek kütlesi, (0,1 mg) bir anlamlı sayı içermektedir, bu nedenle sonuç da bir anlamlı sayı içermek üzere yuvarlanmıştır. Yukarıdaki hesaplamalarda $MgCl_2$ ün mol kütlesi ve Avogadro sayısı, ölçülen miktardan bir fazla anlamlı sayı içermek üzere, iki anlamlı sayı içerecek şekilde yuvarlanmıştır.

ALIŞTIRMA A: $5{,}0 \times 10^{23}$ Cl^- iyonu elde etmek için kaç gram $MgCl_2$ gerekir?

ALIŞTIRMA B: 1,00 μg $Mg(NO_3)_2$ kaç tane nitrat (NO_3^-) iyonu ve kaç tane oksijen atomu içerir?

ÖRNEK 3-2 Mol Kütlesi ile İlgili Hesaplamalarda Çeşitli Faktörlerin Birleştirilmesi

Uçucu bir sıvı olan etil merkaptan, C_2H_6S, bilinen en kokulu bileşiklerden biridir. Doğal gaza ilave edilerek gaz kaçağının anlaşılmasında kullanılır. 1,0 μL lik bir C_2H_6S örneğinde kaç molekül vardır? (d = 0,84 g/mL).

Analiz

Odak noktamız yine ölçülmüş bir madde miktarının mol e çevrilmesidir. Yoğunluk g/mL cinsinden verildiği için, ölçülen hacmi mL ye çevirmek uygun olacaktır. Bundan sonra yoğunluk kullanılarak, kütle miktarı gram cinsinden bulunur ve mol kütlesi kullanılarak da, bu kütle miktarı mol sayısına çevrilir. Son olarak ise, Avogadro sayısı kullanılarak, mol sayısı molekül sayısına çevrilir. Özet olarak çevirme yolu şu sırayı izler: $\mu L \rightarrow mL \rightarrow g \rightarrow mol \rightarrow$ molekül.

Çözüm

Her zamanki gibi gerekli çevirmeleri tek adımda yapmak mümkündür. Ancak burada hesaplamaları üç adımda yapmak daha öğretici olacaktır: (1) hacmi kütleye çevirmek, (2) kütleyi mol sayısına çevirmek ve (3) mol sayısını molekül sayısına çevirmek. Bu üç adım çevirmede izlenecek olan yolda, sırasıyla yoğunluk, mol kütlesi ve Avogadro sayısının rolünü vurgulamaktadır (Çizelge 3-1 e bakınız).

Hacmi kütleye çevirmek için:

$$?\ g\ C_2H_6S = 1{,}0\ \mu L \times \frac{1 \times 10^{-6}\ L}{1\ \mu L} \times \frac{1000\ mL}{1\ L} \times \frac{0{,}84\ g\ C_2H_6S}{1\ mL}$$

$$= 8{,}4 \times 10^{-4}\ g\ C_2H_6S$$

Kütleyi mol sayısına çevirmek için:

$$?\ mol\ C_2H_6S = 8{,}4 \times 10^{-4}\ g\ C_2H_6S \times \frac{1\ mol\ C_2H_6S}{62{,}1\ g\ C_2H_6S}$$

$$= 1{,}4 \times 10^{-5}\ mol\ C_2H_6S$$

Mol sayısını molekül sayısına çevirmek için

$$?\ C_2H_6S\ molekülü = 1{,}4 \times 10^{-5}\ mol\ C_2H_6S \times \frac{6{,}02 \times 10^{23}\ molekülleri\ C_2H_6S}{1\ mol\ C_2H_6S}$$

$$= 8{,}1 \times 10^{18}\ C_2H_6S\ molekülü$$

Değerlendirme

Ara işlem sonuçlarını hesap makinenizin hafızasına *yuvarlama yapmadan* kaydediniz. Yuvarlamayı en sonda yapınız. Burada cevap iki anlamlı sayı içermektedir. Çünkü, hacim ve yoğunluk iki anlamlı sayı içermektedir. Gerekli çevirmeler aşağıdaki gibi tek adımda yapılırsa, yuvarlama hatalarından kaçınılabilir.

$$?\ C_2H_6S\ molekülü = 1{,}0\ \mu L \times \frac{1 \times 10^{-6}\ L}{1\ \mu L} \times \frac{1000\ mL}{1\ L} \times \frac{0{,}84\ g\ C_2H_6S}{1\ mL}$$

$$\times \frac{1\ mol\ C_2H_6S}{62{,}1\ g\ C_2H_6S} \times \frac{6{,}02 \times 10^{23}\ C_2H_6S\ molekülü}{1\ mol\ C_2H_6S}$$

$$= 8{,}1 \times 10^{18}\ C_2H_6S\ molekülü$$

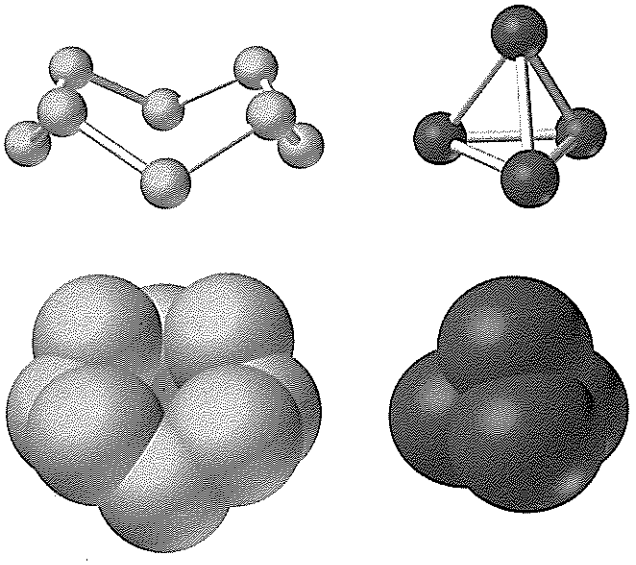
ALIŞTIRMA A: Altının yoğunluğu 19,32 g/cm^3 tür. Her bir kenarı 2,50 cm ve kalınlığı 0,100 mm olan bir altın folyo parçasında kaç tane altın atomu bulunur?

ALIŞTIRMA B: Örnek 3-2 deki 1,0 μL sıvı etil merkaptanın, C_2H_6S (d=0,84 g/mL) boyutları 62 ft × 35 ft × 14 ft olan bir derslik içinde buharlaştırılmasına ve kendiliğinden dağılmasına izin verilirse, bu buharın kokusu fark edilebilir mi? Bileşiğin fark edilebilirlik sınırı 9×10^{-4} μmol/m^3 tür.

Molekül Yapısında Elementin Molü

Bölüm 2 de bir mol elementin $6{,}02214 \times 10^{23}$ element atomu içerdiğini belirtmiştik. Bu tanım yalnız demir, magnezyum, sodyum ve bakır gibi tek tek küresel atomların bir arada bulunduğu elementler için geçerlidir. Oysa bazı elementlerde atomlar bir araya gelerek moleküller oluştururlar. Böyle elementler bir moleküller topluluğudur. Örneğin, kükürt ve fosfor bu tür elementlerdir ve S_8 ile P_4 moleküllerinden oluşmuştur (Şekil 3-5). Yakından tanıdığımız bazı elementlerin molekül formülleri şöyledir.

$$H_2\ O_2\ N_2\ F_2\ Cl_2\ Br_2\ I_2\ P_4\ S_8$$



▶ ŞEKİL 3-5
Kükürt ve fosfor elementlerinin molekül yapıları
Katı kükürtte bir kükürt molekülünde sekiz kükürt atomu vardır. Katı beyaz fosforda ise her molekülde dört fosfor atomu bulunur.

Böyle moleküllerin hem *atom kütlesi* hem de *molekül kütlesi*nden bahsedilebilir. Mol kütleleri iki şekilde verilebilir. Örneğin, hidrojenin atom kütlesi 1,00784 akb ve molekül kütlesi 2,01588 akb olup, mol kütlesi 1,00794 g H/mol H ya da 2,01588 g H_2/mol H_2 şeklinde ifade edilebilir.

Bazen karşılaşılan bir olgu ise, bazı elementlerin birden çok molekül yapısında var olabilmesi yani *allotropidir*. Örneğin, oksijenin iki allotropu vardır, bir tanesi doğada en bol miktarda bulunan iki atomlu oksijen, O_2, diğeri ise çok daha az miktarda bulunan ozondur, O_3. İki atomlu oksijenin mol kütlesi 31,9988 g O_2/mol O_2, ozonunki ise 47,9982 g O_3/mol O_3 tür.

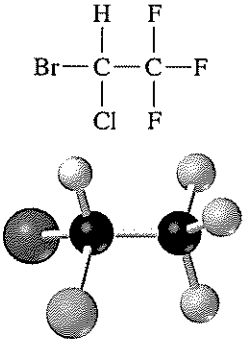
3-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Ayrıntılı hesaplamalar yapmadan, aşağıdakilerden hangisinin en büyük kütleli, hangisinin en küçük kütleli olduğunu bulunuz. (a) 0,5 mol O_2; (b) $2,0 \times 10^{23}$ Cu atomu; (c) $1,0 \times 10^{24}$ H_2O molekülü; (d) 20,000 g pirinç alaşımı; (e) 1,0 mol Ne.

3-3 Kimyasal Bileşiklerin Bileşimi

Bir kimyasal formül, o bileşik ve onu oluşturan elementlerle ilgili önemli bilgiler içerir. Kimyasal formülden yararlanarak mol kütlesini hesaplayabiliriz (bu hesaplamanın nasıl yapıldığını bir önceki kesimde gördük). Kimyasal formülden yararlanarak başka hesaplamalar da yapabiliriz.

▼ Halotanın iki gösterimi.



Renksiz ve uçucu bir sıvı olan halotan yangın söndürmede ve solunum yoluyla alınan anestetik işlemlerinde kullanılmıştır. Halotanın basit ve molekül formülleri aynı olup $C_2HBrClF_3$ tür. Molekül kütlesi 197,382 akb dir. Halotanın mol kütlesi, aşağıda hesaplandığı gibi 197,382 g/mol dür.

$$M_{C_2HBrClF_3} = 2M_C + M_H + M_{Br} + M_{Cl} + 3M_F$$
$$= [(2 \times 12{,}0107) + 1{,}007941 + 79{,}904 + 35{,}453 + (3 \times 18{,}9984)]\ \text{g/mol}$$
$$= 197{,}382\ \text{g/mol}$$

Molekül formülüne göre, *bir mol* halotanda iki mol C atomu, birer mol H, Br ve Cl atomu ve ayrıca üç mol F atomu vardır. Bu bilgilerden yararlanarak, örneğin, "bir mol halotanda kaç mol karbon vardır" şeklindeki bir soruya "1 mol halotanda 2 mol C vardır" diyebiliriz (çevirme faktörü

2 mol C/mol $C_2HBrClF_3$). Bir mol halotandaki C atomu sayısını şöyle hesaplayabiliriz:

$$? \text{ C atomu} = 1{,}000 \text{ mol } C_2HBrClF_3 \times \frac{2 \text{ mol C}}{1 \text{ mol } C_2HBrClF_3} \times \frac{6{,}022 \times 10^{23} \text{ C atomu}}{1 \text{ mol C}}$$

$$= 1{,}204 \times 10^{24} \text{ C atomu}$$

Örnek 3-3 de, $C_2HBrClF_3$ ten çıkardığımız farklı bir çevirme faktörünü kullanırız ve bu faktör mavi ile yazılmıştır. Ayrıca, bu örnekte daha önce gördüğümüz çevirme faktörlerini de kullanacağız:

$$\text{mL} \longrightarrow \text{g} \longrightarrow \text{mol } C_2HBrClF_3 \longrightarrow \text{mol F}$$

ÖRNEK 3-3 Bir Kimyasal Formülden Çıkarılan Bağıntıların Kullanılması

75,0 mL lik bir halotan örneğinde kaç mol F atomu vardır (d = 1,871 g/mL)?

Analiz

Bu problem için çevirme yolu yukarıda verilmiştir. İlk olarak örnek hacmini kütleye çeviriniz. Bunun için yoğunluk çevirme faktörü kullanılır. Sonra halotanın kütlesini molüne çeviriniz. Bunun için mol kütlesi çevirme faktörünün tersi gerekir. Bundan sonra, halotanın formülünden çıkardığınız çevirme faktörünü kullanınız.

Çözüm

$$? \text{ mol F} = 75{,}0 \text{ mL } C_2HBrClF_3 \times \frac{1{,}871 \text{ g } C_2HBrClF_3}{1 \text{ mL } C_2HBrClF_3}$$

$$\times \frac{1 \text{ mol } C_2HBrClF_3}{197{,}4 \text{ g } C_2HBrClF_3} \times \frac{3 \text{ mol F}}{1 \text{ mol } C_2HBrClF_3}$$

$$= 2{,}13 \text{ mol F}$$

Değerlendirme

Burada C mol sayısı sorulmuş olsaydı yukarıdaki hesaplamalarda son çevirme faktörü (2 mol C/1 mol $C_2HBrClF_3$) olurdu.

ALIŞTIRMA A: 25,00 mL halotanda (d = 1,871 g/mL) kaç gram Br vardır?

ALIŞTIRMA B: $1{,}00 \times 10^{24}$ tane Br atomu taşıyan halotanın, $C_2HBrClF_3$ (d = 1,871 g/mL), hacmi kaç mililitredir?

3-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Heksaklorofen, $C_{13}H_6Cl_6O_2$, antiseptik sabunlarda kullanılan bir bileşiktir. Bu bileşikte hangi element en çok sayıda atom bulundurur? Hangi element kütleye en yüksek katkıda bulunur?

Kimyasal Formülden Yüzde Bileşiminin Hesaplanması

Yeni bir bileşik sentezlediğine inanan bir kimyacı, genellikle bu bileşiği bir analiz laboratuvarına gönderir ve yüzde bileşiminin bulunmasını ister. Bu kimyacı daha sonra, laboratuvarda deneysel olarak tayin ettirdiği yüzde bileşim ile elde ettiğine inandığı bileşiğin formülünden hesapladığı yüzde bileşimi karşılaştırır. Böylece, elde ettiğini sandığı bileşiğin gerçekten o olup olmadığını test etmiş olur.

Bir bileşikteki herhangi bir elementin kütlece yüzdesinin nasıl hesaplanacağı Eşitlik (3.1) de gösterilmektedir. Bu eşitliği uygularken, Örnek 3-4 de verildiği gibi, aşağıdaki adımlardan yararlanabiliriz.

1. **Bileşiğin mol kütlesini hesaplayınız.** Bu, eşitlik (3.1) in *paydasını* oluşturur.
2. **Her elementin bileşiğin mol kütlesine yaptığı katkıyı bulunuz.** Bu, o elementin bileşiğin formülündeki alt indisi ile elementin mol kütlesinin çarpımı olup, eşitlik 3.1 in *payında* yer alır.
3. **Bileşikteki her bir elementin kütlesinin, formül kütlesine oranını bulunuz.** Bu 2. adımdaki payın 1. adımdaki paydaya oranıdır.
4. **Bulduğunuz oranı 100 ile çarparak elementin kütle yüzdesini bulunuz.**

$$\text{elementin kütlece \% si} = \frac{\left(\begin{array}{c}\text{elementin}\\ \text{formül birimindeki}\\ \text{atom sayısı}\end{array}\right) \times \left(\begin{array}{c}\text{elementin}\\ \text{mol kütlesi}\end{array}\right)}{\text{bileşiğin mol kütlesi}} \times \%100 \qquad (3.1)$$

Bir bileşiğin kütle bileşimi, bileşikteki elementlerin kütle yüzdelerinin tümüdür.

ÖRNEK 3-4 Bir Bileşiğin Kütlece Yüzde Bileşiminin Hesaplanması

Halotanın, $C_2HBrClF_3$, kütlece yüzde bileşimi nedir?

Analiz

Yukarıda dört-adım olarak verilen yöntemini uygulayınız. Önce $C_2HBrClF_3$ ün mol kütlesini hesaplayınız. Sonra, bir mol bileşikteki elementlerin kütle oranlarını ve yüzdelerini hesaplayınız. Mol kütleleri virgülden sonra iki basamak içeriyorsa, bulacağınız kütle yüzdeleri de virgülden sonra iki basamaklı olacak şekilde yuvarlanmalıdır.

Çözüm

$C_2HBrClF_3$ ün mol kütlesi 197,38 g/mol dür. Kütle yüzdeleri

$$\%\,C = \frac{\left(2\text{ mol C} \times \frac{12{,}01\text{ g C}}{1\text{ mol C}}\right)}{197{,}38\text{ g } C_2HBrClF_3} \times \%100 = \%12{,}17\text{ C}$$

$$\%\,H = \frac{\left(1\text{ mol H} \times \frac{1{,}01\text{ g H}}{1\text{ mol H}}\right)}{197{,}38\text{ g } C_2HBrClF_3} \times \%100 = \%0{,}51\text{ H}$$

$$\%\,Br = \frac{\left(1\text{ mol Br} \times \frac{79{,}90\text{ g Br}}{1\text{ mol Br}}\right)}{197{,}38\ C_2HBrClF_3} \times \%100 = \%40{,}48\text{ Br}$$

$$\%\,Cl = \frac{\left(1\text{ mol Cl} \times \frac{35{,}45\text{ g Cl}}{1\text{ mol Cl}}\right)}{197{,}38\text{ g } C_2HBrClF_3} \times \%100 = \%17{,}96\text{ Cl}$$

$$\%\,F = \left(\frac{3\text{ mol F} \times \frac{19{,}00\text{ g F}}{1\text{ mol F}}}{197{,}38\text{ g } C_2HBrClF_3}\right) \times \%100 = \%28{,}88\text{ F}$$

Buna göre, halotanın yüzde bileşimi % 12,17 C, % 0,51 H, % 40,48 Br, % 17,96 Cl, ve % 28,88 F dur.

Değerlendirme

Yukarıdaki kütlece yüzde hesaplamaları tam bir mol halotan örneği baz alınarak hesaplanmıştır. Diğer bir yaklaşım ise tam 100 g halotanda her elementten kaç g bulunduğunu hesaplamaktır. Örneğin, 100 g halotanda,

$$?\text{ g C} = 100\text{ g } C_2HBrClF_3 \times \frac{1\text{ mol } C_2HBrClF_3}{197{,}38\text{ g } C_2HBrClF_3} \times \frac{2\text{ mol C}}{1\text{ mol } C_2HBrClF_3} \times \frac{12{,}01\text{ g C}}{1\text{ mol C}} = 12{,}17\text{ g C}$$

ve halotan % 12,17 C içerir. Böylece 100 g halotandaki karbon miktarı sayısal olarak karbonun kütlece yüzdesine eşittir. % C ile g C hesaplamalarını karşılaştırırsanız, her iki hesaplamada da aynı faktörlerin, ancak biraz farklı bir sırada, kullanıldığını görürsünüz.

ALIŞTIRMA A: Adenosin trifosfat (ATP) hücrelerde temel enerji deposudur. Kimyasal formülü $C_{10}H_{16}N_5P_3O_{13}$ dir. Kütlece yüzde bileşimi nedir?

ALIŞTIRMA B: *Ayrıntılı hesaplamalar yapmadan*, aşağıdaki bileşiklerden hangi ikisinde oksijenin kütlece yüzdesinin aynı olduğunu belirleyiniz? **(a)** CO; **(b)** CH_3COOH; **(c)** C_2O_3; **(d)** N_2O; **(e)** $C_6H_{12}O_6$; **(f)** $HOCH_2CH_2OH$

Bileşikteki elementlerin yüzde miktarlarının toplamı %100,00 olmalıdır. Bu gerçekten iki şekilde yararlanabiliriz.

1. Yüzdelerin toplamının %100,00 olup olmadığına bakarak, hesaplamanın doğruluğunu kontrol edebiliriz. Bu durumu Örnek 3-4 e uygularsak,

$$\%\ 12{,}17 + \%\ 0{,}51 + \%\ 40{,}48 + \%\ 17{,}96 + \%\ 28{,}88 = \%\ 100{,}00$$

2. Biri dışında diğer elementlerin yüzdelerini hesaplar ve toplarız. Bu toplamı %100,00 den çıkararak, yüzdesini hesaplamadığımız elementin yüzde katkısını buluruz.

$$\begin{aligned}\%\ H &= \%\ 100{,}00 - \%\ C - \%\ Br - \%\ Cl - \%\ F \\ &= \%\ 100{,}00 - \%\ 12{,}17 - \%\ 40{,}48 - \%\ 17{,}96 - \%\ 28{,}8 \\ &= \%\ 0{,}51\end{aligned}$$

Bir Bileşiğin Deneysel Olarak Bulunan Yüzde Bileşiminden Formülünün Bulunması

Bir kimyacının, örneğin, bir bitkiden elde ettiği bir kimyasal bileşiğin ne olduğu hakkında genellikle hiç bir fikri yoktur. Ancak laboratuvarda yüzde bileşimi saptanan bu bileşiğin formülü hesap yoluyla bulunabilir.

Yüzde bileşim bir bileşiğin içerdiği elementlerin *kütlece* bağıl oranlarını verir. Oysa kimyasal formülde bu oranlar *mol* cinsinden, yani atom *sayıları* cinsinden gösterilir. Kütle oranlarını mol oranlarına çevirmek ve buradan bileşiğin formülünü saptamak için aşağıdaki beş basamaklı yol izlenebilir. Bu yaklaşımı DNA nın (deoksiribonükleik asit) temel bileşeni 2-deoksiriboz şekerine uygulayalım. 2-deoksiribozun kütlece yüzde bileşimi % 44,77 C, % 7,52 H ve % 47,71 O dir.

1. Elinizdeki örneğin *tam* 100 g olduğunu varsayınız. 100 g örnekteki elementlerin kütleleri, yüzdelerine eşittir, yani örnekte 47,77 g C, 7,52 g H ve 47,71 O vardır.
2. 100 g örnekteki her bir elementin kütlesini, mol miktarına çeviriniz.

$$?\ \text{mol C} = 44{,}77\ \text{g C} \times \frac{1\ \text{mol C}}{12{,}011\ \text{g C}} = 3{,}727\ \text{mol C}$$

$$?\ \text{mol H} = 7{,}52\ \text{g H} \times \frac{1\ \text{mol H}}{1{,}008\ \text{g H}} = 7{,}46\ \text{mol H}$$

$$?\ \text{mol O} = 47{,}71\ \text{g O} \times \frac{1\ \text{mol O}}{15{,}999\ \text{g O}} = 2{,}982\ \text{mol O}$$

◀ Mol kütlesinde, elementin atom kütlesinden bir fazla anlamlı rakam kullanınız.

3. Bulunan bu mol değerlerine uyan geçici formülü yazınız.

$$C_{3{,}727}H_{7{,}46}O_{2{,}982}$$

4. Bulduğunuz sayıları en küçüğüne (2,982) bölerek indisleri tam sayı haline getirmeye çalışınız.

$$C_{\frac{3,727}{2,982}}\ H_{\frac{7,46}{2,982}}\ O_{\frac{2,982}{2,982}} = C_{1,25}\ H_{2,50}\ O$$

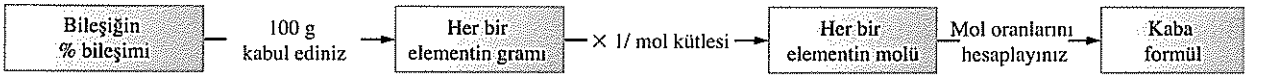
Eğer bütün alt indisler tam sayılardan çok az farklı ise (burada değil) tam sayılara yuvarlayınız ve bu noktada hesaplamanızı sonlandırınız.

5. Eğer bir veya daha fazla indis hala tam sayı değilse (burada böyle), bütün indisleri tam sayı yapacak şekilde, küçük bir tam sayı ile çarpınız. Örneğin burada 4 ile çarpmalıyız.

$$C_{(4 \times 1,25)}H_{(4 \times 2,50)}O_{(4 \times 1)} = C_5H_{10}O_4$$

Yukarıda belirtilen yöntemle bulduğunuz bu formül, $C_5H_{10}O_4$, olası en basit formül, yani *kaba formüldür.* Gerçek *molekül formülü* bu formüle eşit veya bunun katları olabilir, örneğin $C_{10}H_{20}O_{81}$, $C_{15}H_{30}O_{12}$, $C_{20}H_{40}O_{16}$ olabilir. Çarpan faktörünü bulmak için, kaba formül tabanlı formül kütlesi ile bileşiğin gerçek molekül kütlesini karşılaştırmalıyız. Farklı bir deneyden molekül kütlesini (Bölüm 6 ve 13 deki yöntemlerle) bulabiliriz. 2-Deoksiribozun deneysel olarak bulunan molekül kütlesi 134 akb dir. Kaba formüle, $C_5H_{10}O_4$, göre de formül kütlesi 134,1 akb dir. Burada ölçülen molekül kütlesi ile kaba formül kütlesi aynıdır. Bu durumda 2-deoksiribozun molekül formülü $C_5H_{10}O_4$ dür.

Yukarıdaki beş basamaklı yaklaşımı aşağıdaki akım şemasında(3.2) özetleyelim, kaba formül ve molekül formülünün aynı olmadığı Örnek 3-5 e uygulayalım.



(3.2)

ÖRNEK 3-5 Bir Bileşiğin Kaba ve Molekül Formüllerinin Yüzde Bileşimlerinden Bulunması

Dibütil süksinat ev karıncaları ve hamam böceklerine karşı kullanılan bir böcek kovucudur. Bileşimi % 65,58 C, % 9,63 H ve % 27,79 O dir. Deneysel olarak bulunan molekül kütlesi 230 akb dir. Dibütil süksinatın kaba ve molekül formüllerini bulunuz.

Analiz

İzlenecek olan beş basamak yukarıdaki gibidir.

Çözüm

1. 100,0 g örnekteki elementlerin kütlelerini belirleyiniz. — 62,58 g C, 9,63 g H, 27,79 g O
2. Bütün bu kütleleri mole çeviriniz.

$$?\ \text{mol C} = 62,58\ \text{g C} \times \frac{1\ \text{mol C}}{12,011\ \text{g C}} = 5,210\ \text{mol C}$$

$$?\ \text{mol H} = 9,63\ \text{g H} \times \frac{1\ \text{mol H}}{1,008\ \text{g H}} = 9,55\ \text{mol H}$$

$$?\ \text{mol O} = 27,79\ \text{g O} \times \frac{1\ \text{mol O}}{15,999\ \text{g O}} = 1,737\ \text{mol O}$$

3. Bulduğunuz mol sayılarına göre geçici bir formül yazınız. — $C_{5,21}\ H_{9,55}\ O_{1,74}$

4. Geçici formüldeki her bir alt indisi en küçüğüne (1.74) bölünüz.
   Eğer bulduğunuz sayılar, bir tam sayıya çok yakınsa, o tamsayıya yuvarlayınız. Örneğin 2,99 un 3 yazılması gibi.

$$C_{\frac{5,21}{1,74}}\,H_{\frac{9,55}{1,74}}\,O_{\frac{1,74}{1,74}} = C_{2,99}\,H_{5,49}\,O$$

$$C_3H_{5,49}O$$

5. Şimdi, bütün sayıları tamsayı yapmak için, indisleri uygun bir tamsayı ile çarpınız. Burada 2 ile çarpmamız gerekir:

$$C_{2\times3}\,H_{2\times5,49}\,O_{2\times1} = C_6\,H_{10,98}\,O_2$$
$$2\times 5,49 = 10,98 \approx 11$$

Kaba formül: $C_6H_{11}O_2$

Molekül formülünü bulmak için önce "kaba formül kütlesini" bulunuz.

$$[(6\times 12,0) + (11\times 1,0) + (2\times 16,0)]\text{akb} = 115\text{ akb}$$

Deneysel olarak bulunan molekül kütlesi (230 akb), kaba formülün kütlesinin iki katı olduğundan, molekül formülü kaba formülün iki katıdır.

Molekül formülü: $C_{12}H_{22}O_4$

Değerlendirme

Problemi tersten çözerek, sonuçlarınızı kontrol ediniz. $C_{12}H_{22}O_4$ için % C = (12 × 12 akb/ 230 akb) × % 100 = % 63; % H = (22 × 1 akb /230 akb) × % 100 = % 9,6; ve % O = (4 × 16 akb /230 akb) × % 100 = % 28. Hesaplanan bu kütle yüzdeleri problemde verilen yüzdelerle uyumlu olduğundan, yanıtımız doğrudur.

ALIŞTIRMA A: Bazı "şeker içermeyen" yiyeceklerde tatlandırıcı olarak kullanılan sorbitolün molekül kütlesi 182 akb ve kütlece yüzde bileşimi %39,56 C, %7,74 H ve %52,70 O dir. Sorbitolün kaba ve molekül formülü nedir?

ALIŞTIRMA B: Klor içeren uyuşturucu bir ilaç olan pentaeritritol kloral, klor dışında % 21,51 C, % 2,22 H ve % 17,64 O içermektedir ve molekül kütlesi 726 akb dir. Pentaeritritol kloralin kaba ve molekül formüllerini bulunuz.

3-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Eğer bir bileşiğin hem yüzde bileşimi ve hem de mol kütlesi biliniyorsa, Örnek 3-5 deki beş adımlı yöntemin birinci basamağında olduğu gibi 100 g numune alarak işleme başlamak yerine, neden mol kütlesi kullanılarak molekül formülünün çok daha kolay tayin edilebileceğini açıklayınız. Bu durumda kaba formülü nasıl belirlerdiniz?

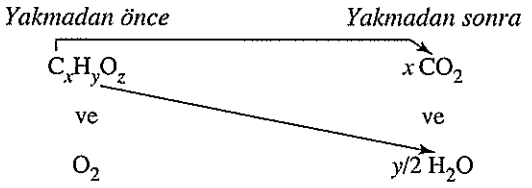
3-2 MERAK EDİYORSANIZ...

Kaba formüldeki indislerin yuvarlanma sınırları nedir? Kesirli sayılar tamsayıya nasıl çevrilir?

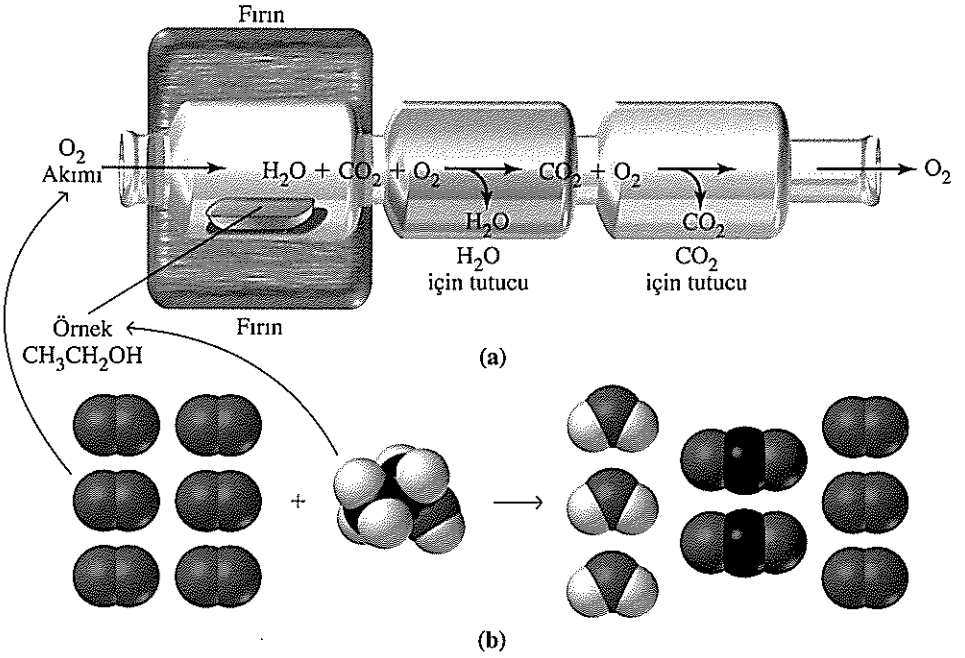
Sayıların yuvarlanma sınırı, yapılan element analizinin duyarlık sınırına bağlıdır. Yüksek molekül ağırlığına sahip bileşiklerde yuvarlama işlemi hatalı sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, yuvarlama işleminde kesin bir kural yoktur. Bu kitaptaki örneklerde yuvarlama işlemini yüzde ya da iki yüzde bir oranında yapabilirsiniz. (Örneğin, 3,8 sayısı 4 e yuvarlanabilir). Tamsayıdan sapma daha fazla ise, indisi tamsayıya çevirmek için uygun bir tamsayı ile çarpmanız gerekir. Uygun tam sayı 2, 3, 4, 5 gibi basit bir sayıdan büyük ise iki kez küçük bir tam sayı ile çarpmak daha uygun olabilir. Örneğin, gerekli sabit 8 ise önce 2 sonra 4 ile çarpma yapılır.

Yakma Analizi

Şekil 3-6 kolay yanan bileşiklerin kaba formüllerini belirlemek için kullanılan bir deney yöntemini göstermektedir. Burada yakılan bileşikler karbon, hidrojen, azot, oksijen ve başka bir kaç element taşıyan bileşiklerdir. *Yakma analizinde* belirli ağırlıkta bileşik örneği, oksijen gazı akımında yakılır. Yakma sırasında oluşan su buharı ve karbon dioksit gazı uygun maddeler tarafından tutulur. Bu tutucuların artan ağırlıkları su ve karbon dioksitin kütlelerini verir. Olay aşağıdaki gibi düşünülebilir: (x, y ve z başlangıçta bilmediğimiz tam sayılardır.)



Yakma sonucunda örnekteki bütün C atomları CO_2 haline geçer. H atomları da H_2O yu verir. CO_2 ve H_2O daki bu atomların tek kaynağı yakılan örnektir. Ancak, CO_2 ve H_2O daki O atomları hem kullanılan oksijen gazından, hem de örnekten gelir. Bu nedenle, örnekteki oksijen miktarını dolaylı yoldan elde ederiz. Kaba formül tayini için, yakma analizinin nasıl kullanıldığı Örnek 3-6 da görülmektedir.



▲ ŞEKİL 3-6
Yakma analizi düzeneği
(a) Oksijen gazı, analiz edilecek numuneyi içeren yakma tüpünden geçer. Düzeneğin bu kısmında yüksek sıcaklık fırını vardır. Yanma ürünleri fırını terkederken tutulurlar. Su buharı magnezyum perklorat tarafından, karbon dioksit gazı ise sodyum hidroksit tarafından tutulur (sodyum karbonat verir). Yakmadan önce ve yakmadan sonra bu tutucuların kütlelerindeki fark, yanma tepkimesinde oluşan H_2O ve CO_2 nin kütlelerini verir. **(b)** Etanolün yanmasının molekül gösterimi. Her bir etanol molekülü iki karbon dioksit ve üç H_2O molekülü oluşturur. Yakma işlemi aşırı oksijenli ortamda olur ve tepkime sonunda oksijen molekülleri artar. Burada kütlenin korunumuna dikkat ediniz.

ÖRNEK 3-6 Yakma Analizi Verilerinden Kaba Formülün Saptanması

C vitamini iskorbüt hastalığından korunmada gereklidir. Bu karbon-hidrojen-oksijen bileşiğinin 0,2000 g lık bir örneği yakıldığında 0,2998 g CO_2 ve 0,0819 g H_2O oluşur. C vitamininin yüzde bileşimi ve kaba formülü nedir?

Analiz

Yakmadan sonra C vitamini örneğindeki karbon atomlarının hepsi CO_2 bileşiğinde, hidrojen atomlarının hepsi de H_2O da bulunur. Ancak CO_2 ve H_2O daki oksijen atomlarının bir kısmı örnekten, bir kısmı ise yakmada tüketilen oksijen gazından gelir. Bu nedenle, yüzde bileşimi bulurken önce karbon ve hidrojenin, sonra da oksijenin yüzdelerini hesaplarız. Kaba formülü tayin ederken, önce C, H, ve O atomlarının mollerini sonra da mol oranlarını hesaplarız.

Çözüm

Yüzde Bileşim

Önce 0,2988 g CO_2 deki karbonun molünü,

$$?\ \text{mol C} = 0{,}2998\ \text{g } CO_2 \times \frac{1\ \text{mol } CO_2}{44{,}010\ \text{g } CO_2} \times \frac{1\ \text{mol C}}{1\ \text{mol } CO_2} = 0{,}006812\ \text{mol C}$$

ve oradanda karbonun kütlesini(g) bulunuz.

$$?\ \text{g C} = 0{,}006812\ \text{mol C} \times \frac{12{,}011\ \text{g C}}{1\ \text{mol C}} = 0{,}08182\ \text{g C}$$

Benzer biçimde 0,0819 g H_2O daki H nin molünü,

$$?\ \text{mol H} = 0{,}0819\ \text{g } H_2O \times \frac{1\ \text{mol } H_2O}{18{,}02\ \text{g } H_2O} \times \frac{2\ \text{mol H}}{1\ \text{mol } H_2O} = 0{,}00909\ \text{mol H}$$

$$?\ \text{g H} = 0{,}00909\ \text{mol H} \times \frac{1{,}008\ \text{g H}}{1\ \text{mol H}} = 0{,}00916\ \text{g H}$$

ve kütlesini bulunuz.

0,2000 g örnekteki O in kütlesini fark alarak bulunuz.

$$?\ \text{g O} = 0{,}2000\ \text{g numune} - 0{,}08182\ \text{g C} - 0{,}00916\ \text{g H} = 0{,}1090\ \text{g O}$$

Sonunda bu üç elementin kütle kesirlerini % 100 ile çarparak kütlece yüzdelerini bulunuz.

$$\%\ \text{C} = \frac{0{,}08182\ \text{g C}}{0{,}2000\ \text{g numune}} \times \%100 = \%40{,}91\ \text{C}$$

$$\%\ \text{H} = \frac{0{,}00916\ \text{g H}}{0{,}2000\ \text{g numune}} \times \%100 = \%4{,}58\ \text{H}$$

$$\%\ \text{O} = \frac{0{,}1090\ \text{g O}}{0{,}2000\ \text{g numune}} \times \%100 = \%54{,}50\ \text{O}$$

Kaba Formül

Bu noktada iki yöntemden birini kullanabiliriz. Birincisi, Örnek 3-5 deki gibi kütle yüzde bileşimden kaba formülü bulmaktır. İkincisi ise, 0,2000 g örnekteki C ve H nin mollerini zaten hesaplamış olduğumuzu görüp, O molünü de hesaplamak ve geçici kaba formülü yazmaktır.

$$?\ \text{mol O} = 0{,}1090\ \text{g O} \times \frac{1\ \text{mol O}}{15{,}999\ \text{g O}} = 0{,}006813\ \text{mol O}$$

0,2000 g numunedeki C,H ve O mollerinden geçici kaba formülü yazabiliriz.

$$C_{0{,}006812}H_{0{,}00909}O_{0{,}006813}$$

İndisleri en küçüğüne (0,006812) bölerek, tekrar geçici kaba formülü yazabiliriz:

$$CH_{1{,}33}O$$

(devam ediyor)

ve sonra indisleri 3 ile çarparsak $3 \times 1{,}33 = 3{,}99 \approx 4{,}00$. Bileşiğin kaba formülünü elde ederiz:

C vitamininin kaba formülü: $C_3H_4O_3$

Değerlendirme

Kaba formülü bulurken önce kütle yüzde bileşiminin hesaplanması gerekmez. Örnekteki farklı atomların molleri hesaplanabildiği sürece, kaba formül bileşiğin herhangi bir kütlesinden de bulunabilir.

ALIŞTIRMA A: İzopropil propiyonat rom özütündeki tadı veren bileşiktir. Bu karbon, hidrojen ve oksijen bileşiğinin 1,152 g lık örneğinin yakılması 2,726 g CO_2 ve 1,116 g H_2O vermiştir. İzopropil propiyonatın kaba formülü nedir?

ALIŞTIRMA B: Bir karbon, hidrojen ve kükürt bileşiği olan tiyofenin 1,505 g lık bir örneği tamamen yakılıyor. Oluşan ürünler 3,149 g CO_2, 0,645 g H_2O ve 1,146 g SO_2 dir. Tiyofenin kaba formülünü bulunuz.

3-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Yakma aşırı oksijen ile gerçekleştiğinde aşağıdakilerden hangisi en yüksek miktarda CO_2 ve H_2O oluşturur? (a) 0,50 mol $C_{10}H_8$; (b) 1,25 mol CH_4; (c) 0,500 mol C_2H_5OH; (d) 1,00 mol C_6H_5OH.

Yanma tepkimelerinin kimyasal bileşiklerin analizinde nasıl kullanılacağını yukarıda gördük, ancak bütün bileşik örnekleri bu kadar kolay yanmazlar. Neyse ki kimyasal bileşiklerin analizi için başka tepkimeler de vardır. Ayrıca cihazlarla fiziksel ölçümlere dayanan modern yöntemler de geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin güvenilirlikleri çoğu kez kimyasal tepkimeye dayanan ölçümlerden de fazladır ve böyle yöntemlerden bazılarını ilerde göreceğiz.

3-4 Yükseltgenme Basamakları: Kimyasal Bileşikleri Açıklanmada Yararlı Bir Kavram

▶ Yükseltgenme basamağı (Y.B) "sanal yük " ya da "kurgusal yük" olarak da tanımlanabilir. Örneğin, tek atomlu iyonlarda Y.B ile atomun yükü aynıdır, çok atomlu iyonlar ve moleküllerde ise Y.B sanal olmakla beraber bileşiklerin tamamen iyonik olduğu durumdaki yüke eşittir.

Kimyadaki temel kavramların çoğu ölçülebilen özellikler ya da olaylarla ilgilidir. Ancak öyle bazı kavramlar geliştirilmiştir ki, bunlar bazı özel amaçlara hizmet ederler. **Yükseltgenme basamağı** (yükseltgenme sayısı)* bu kavramlardan biridir. Bu kavram bir atomun bileşiklerinde verdiği, aldığı ya da bağ yapmakta kullandığı elektron sayısı ile ilişkilidir.

NaCl bileşiğini gözönüne alınız. Sodyum metalinin bir atomu bir elektronunu bir ametal olan Cl elementinin bir atomuna verir. Bileşik Na^+ ve Cl^- iyonlarını içerir (Şekil 3-4). Burada, Na un yükseltgenme basamağı +1, Cl un ise −1 dir.

$MgCl_2$ de bir Mg atomu iki elektron kaybederek Mg^{2+} oluşturur. Her bir Cl atomu da bir elektron alarak Cl^- iyonu haline geçer. Cl un yükseltgenme basamağı, tıpkı NaCl de olduğu gibi −1 dir. Fakat Mg un yükseltgenme basamağı +2 dir. $MgCl_2$ ün bir formül birimindeki bütün atomların (iyonların) yükseltgenme basamaklarını toplarsak, $+2 - 1 - 1 = 0$ elde ederiz.

Cl_2 molekülünde her iki atom da aynıdır ve *aynı* yükseltgenme basamağında olmalıdır. Yükseltgenme basamakları toplamı sıfır olacağından, her bir Cl atomunun yükseltgenme basamağı da 0 olmalıdır. Buna göre, bir atomun yükseltgenme basamağı, bulunduğu bileşiğe göre değişik değerler alabilir. H_2O molekülünde H nin yükseltgenme basamağı +1 kabul edilir ve H_2O daki atomların yükseltgenme basamakları toplamı sıfır olacağından, oksijenin yükseltgenme basamağı −2 dir.

* Yükseltgenme basamağı bir sayı ile gösterildiğinden, bunun yerine çoğu kez yükseltgenme sayısı terimi de kullanılır. Biz bu iki terimi birbirinin yerine kullanacağız.

Bu örneklerden anlaşıldığı gibi, yükseltgenme basamaklarını belirlemek için bazı kurallara gereksinme duyarız. Aşağıda Çizelge 3-2 de verilen yedi kural, bu kitabın kapsamı için yeterlidir. Ancak şu kuralı aklınızda tutunuz: *Kurallar aşağıdaki sıraya göre uygulanmalıdır. Eğer iki kural birbiriyle çelişirse (böyle durumlarla sık sık karşılaşılacaktır) listede daha üste yazılmış kural geçerlidir.* Her kurala örnekler verilmiş ve Örnek 3-7 de uygulanmıştır.

ÇİZELGE 3.2 Yükseltgenme Basamaklarının Belirlenme Kuralları

1. *Serbest element atomlarının(başka elementlerle bileşik yapmamış olan) yükseltgenme basamakları (Y.B) 0 dır.*

   [*Örnekler*: Serbest Cl atomunun yükseltgenme basamağı 0 dır; Cl_2 molekülünde iki klorun da yükseltgenme basamağı 0 dır.]

2. Aşağıda verilen durumlarda, *atomların yükseltgenme basamaklarının(Y.B.) toplamı şöyledir:*

   (a) *nötür türlerde, örneğin serbest atomlar, moleküller ve formül birimleri gibi, Y.B. toplamı sıfırdır.*

   [*Örnekler*: CH_3OH de bütün atomların ve $MgCl_2$ deki bütün iyonların Y.B. toplamı 0 dır.]

   (b) *bir iyonda yükseltgenme sayılarının toplamı, iyonun yüküne eşittir.*

   [*Örnekler*: Fe^{3+} de Fe nin Y.B. +3 dür. MnO_4^- de bütün atomların Y.B. larının toplamı −1 dir.]

3. *Grup 1 metallerinin bileşiklerinde Y.B. +1 ve Grup 2 metallerinin +2 dir.*

   [*Örnekler*: KCl ve K_2CO_3 de K un Y.B. +1, $MgBr_2$ ve $Mg(NO_3)_2$ de Mg un Y.B. +2 dir.]

4. *Bileşiklerinde florun Y.B. −1 dir.*

   [*Örnekler:* HF, ClF_3 ve SF_6 da F un Y.B. −1 dir.]

5. *Bileşiklerinde hidrojenin Y.B. +1 dir*

   [*Örnekler:* HI, H_2S, NH_3 ve CH_4 de H nin Y.B. +1 dir.]

6. *Bileşiklerinde oksijenin Y.B. −2 dir.*

   [*Örnekler:* H_2O, CO_2 ve $KMnO_4$ de O nin Y.B. −2 dir.]

7. *Metallerle yaptığı ikili bileşiklerde grup 7 elementlerinin Y.B −1, grup 6 elementlerinin −2 ve grup 5 elementlerinin −3 dür.*

   [*Örnekler:* $MgBr_2$ de Br un Y.B. −1; Li_2S de S ün Y.B −2; ve Li_3N de N un Y.B. −3 dür.]

◀ H nin LiH, NaH ve CaH_2 de olduğu gibi bir metale doğrudan bağlı olduğu durumlarda kural 5 e uyulmaz. O atomlarının birbirine bağlandığı H_2O_2 ve KO_2 gibi bileşiklerde ve OF_2 gibi O- F bağı içeren bileşiklerde kural 6 ya uyulmaz.

ÖRNEK 3-7 Yükseltgenme Basamaklarının Belirlenmesi

Aşağıda altı çizilmiş elementlerin yükseltgenme basamağını bulunuz. **(a)** $\underline{P}_4$; **(b)** $\underline{Al}_2O_3$; **(c)** $\underline{Mn}O_4^-$; **(d)** $Na\underline{H}$; **(e)** $H_2\underline{O}_2$; **(f)** $\underline{Fe}_3O_4$?

Analiz

Çizelge 3-2 deki kuralları uygulayınız.

Çözüm

(a) P_4: Bu, bir elementel fosfor molekülünün formülüdür. Serbest elementin Y.B. 0 olacağından (kural 1), P_4 deki P nin Y.B. 0 dır.

(b) Al_2O_3: Formül birimindeki atomların yükseltgenme basamakları toplamı 0 dır (kural 2). Oksijenin Y.B. −2 dir (kural 6). Üç oksijen için toplam sayı −6 dır. İki Al atomunun +6 olmalıdır. Al un Y.B. +3 tür.

(c) MnO^-_4: Bu, permanganat iyonudur. İyondaki atomların yükseltgenme basamakları toplamı −1 dir (kural 2). Dört oksijen için toplam −8 dir. Mn ın Y.B. +7 olmalıdır.

(d) NaH: Sodyum hidrür iyonik bileşiktir ve formül birimi NaH dır. Kural 3 e göre Na un Y.B. +1 olmalıdır. Kural 5 e göre H nin de Y.B. +1 olmalıdır. Eğer her iki atom da +1 Y.B. na sahipse, formül birimi +2 olacaktır. Bu ise kural 2 ye aykırıdır. *Kural 2 ve kural 3, kural 5 in üstünde yer alır.* Na un Y.B. +1, formül biriminin toplam yükü 0, H nin Y.B. −1 dir.

(e) H_2O_2: Bu bileşik hidrojen peroksittir. H nin Y.B. +1 diyen kural oksijenin Y.B. −2 diyen kural 6 dan daha üsttedir. İki H in yükseltgenme basamakları toplamı +2 olduğundan, iki oksijen −2 olmalıdır. O in Y.B. −1 dir.

(f) Fe_3O_4: Dört O atomunun toplam yükseltgenme basamağı −8 dir (her bir O için −2). Üç Fe atomunun toplam Y.B. +8 olmalıdır. Bir Fe atomunun Y.B. $\frac{8}{3}$ ya da $+2\frac{2}{3}$ tür

Değerlendirme

Deneyim kazandıkça yükseltgenme basamaklarının belirlenmesi için gereken aritmetik işlemleri yazmadan zihinden yapabileceksiniz. Ayrıca bir yükseltgenme basamağını (kural 2 ye göre) belirledikten sonra, yükseltgenme basamakları toplamının molekül veya iyonun yüküne eşit olduğundan emin olunuz. Örneğin yukarıda (c) şıkkında, MnO_4^- te Mn nin yükseltgenme basamağını +7 olarak bulduk. Bu sonucun doğru olduğunu, yükseltgenme basamaklarının toplamının, $7+4\times(-2) = -1$ yani MnO_4^- iyonunun toplam yükü olan − e eşit olduğundan anlarız.

ALIŞTIRMA A: Aşağıda altı çizili elementlerin yükseltgenme basamakları kaçtır?

$\underline{S}_8$; $\underline{Cr}_2O_7^{2-}$; $\underline{Cl}_2O$; $K\underline{O}_2$?

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki formüllerde altı çizili elementlerin yükseltgenme basamağı nedir?

$\underline{S}_2O_3^{2-}$; $\underline{Hg}_2Cl_2$; $K\underline{Mn}O_4$; $H_2\underline{C}O$?

Örnek 3-7 de (f) şıkkında Fe_3O_4 deki demir atomlarının yükseltgenme basamağını $+2\times(2/3)$ bulmuştuk, halbuki daha önceki örneklerde yükseltgenme basamakları hep tam sayılı değerlerdi, bu kesirli değer nasıl olabildi? Bunun nedeni, bir bileşikteki belirli bir elementin atomlarının hepsinin aynı yükseltgenme basamağına sahip olduğunu varsaymamızdır. Bu genellikle doğru olmakla beraber her zaman geçerli değildir. Örneğin Fe_3O_4, daha doğru bir biçimde iki basit formül biriminin bileşimi olarak $FeO{\cdot}Fe_2O_3$ şeklinde gösterilebilir. FeO da Fe atomunun Y.B. +2 dir. Fe_2O_3 de *iki* Fe atomunun her birinin Y.B. +3 tür. Bu üç demir atomunun Y.B. ortalaması ise, $(2 + 3 + 3)/3 = \frac{8}{3} = 2\frac{2}{3}$ yani kesirli bir sayı olan $2\times(2/3)$ dür.

Ayrıca, çoğu kez, yükseltgenme basamağını bulmadan önce, bir formülü "parçalarına" ayırmamız gerekir. Örneğin, iyonik bir bileşik olan NH_4NO_3, NH_4^+ ve NO_3^- iyonlarını içerir. N un NH_4^+ da Y.B. −3 ve NO_3^- de +5 dir. Bunların ortalamasını almaya *gerek yoktur*. İki N atomunun ortalama yükseltgenme basamağını +1 almak yerine, her bir N atomunun yükseltgenme basamağını ayrı ayrı bilmek daha yararlıdır.

3-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Mol kütlesi 32 g/mol olan bir azot-hidrojen bileşiğindeki N un yükseltgenme basamağı, NH_3 daki azotun yükseltgenme basamağından yüksektir. Bu bileşik için uygun bir formül bulunuz.



▲ ŞEKİL 3-7
İki kurşun oksit
Bu iki bileşik aynı elementleri (kurşun ve oksijen) taşırlar, ancak oranları farklıdır. Bu nedenle formülleri ve adları da farklı olmalıdır. Kurşun (IV) oksit = PbO_2 (kızılkahverengi); kurşun (II) oksit = PbO (sarı).

3-5 Bileşiklerin Adlandırılması: Organik ve İnorganik Bileşikler

Bu bölümde şimdiye değin bileşikleri daha çok formülleri ile gösterdik. Bundan sonra bileşiklerin nasıl adlandırıldıkları üzerinde duracağız. Eğer bir bileşiğin adını bilirsek, özelliklerine bir kimya el kitabından bakabiliriz, kimyasal madde deposundan isteyebiliriz ya da bir arkadaşımızla özellikleri hakkında tartışabiliriz. Derste ilerledikçe, farklı bileşiklerin aynı formülle gösterildiği durumlarla da karşılaşacağız. Bu durumda, bileşikleri ayırt edebilmek için adlarından yararlanacağız. İki farklı bileşik aynı adı taşımaz, ancak benzer bileşiklerin adlarında da benzerlikler vardır (Şekil 3-7). Eğer bütün bileşiklerin yaygın ve ticari adlarını teker teker öğrenmek

gerekseydi, örneğin su (H_2O) amonyak (NH_3) ya da glukoz ($C_6H_{12}O_6$) gibi, milyonlarca birbirinden bağımsız kimyasal isim ezberlememiz gerekirdi. Bu ise neredeyse olanaksızdır. Bileşikleri adlandırmada büyük bir karışıklığa meydan vermemek ve olanaksızı başarmaya çalışmamak için, bir *adlandırma sistemine* gereksinmemiz vardır. Çeşitli adlandırma sistemleri bulunmaktadır ve bu kitapta bunlara uygun yerlerde değinilecektir. Karbon ve hidrojenden ya da karbon, hidrojen, azot, oksijen ve daha bir kaç elementten oluşmuş bileşikler **organik bileşikler** adını alırlar; bunlar özel bir kimya dalı olan *organik kimyada* incelenirler ve bunların kendilerine özgü bir adlandırma sistemi vardır. Bu tanımın dışında kalanlar ise **inorganik bileşikler** adını alırlar; bu bileşiklerin incelendiği kimya dalı *inorganik kimyadır*. Bir sonraki kesimde inorganik bileşiklerin adlandırılmasını ve Kesim 3-7 de de organik bileşiklerin adlandırılmalarını göreceğiz.

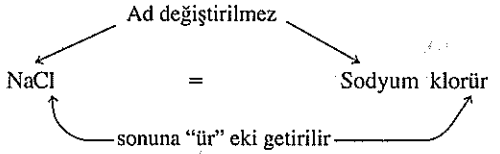
3-6 İnorganik Bileşiklerin Adları ve Formülleri

Metal ve Ametal İkili Bileşikleri

İkili bileşikler *iki elementten* oluşmuş bileşiklerdir. Elementlerden biri metal, diğeri ametal ise, ikili bileşik çoğunlukla iyonlardan oluşur, yani ikili *iyonik* bileşiktir. Böyle bileşikleri adlandırmak için,

- Metal adı *aynen* kullanılır,
- Metal adından sonra yazılan ametal adının sonuna "*ür*" eki getirilir.

Örneğin NaCl, $MgCl_2$ ve Al_2O_3 için adlandırma yöntemi aşağıda gösterilmektedir



MgI_2 = Magnezyum iyodür

Al_2O_3 = Aluminyum oksit

İyonik bileşikler, pozitif ve negatif yükler içermelerine karşın, *elektrik olarak nötür (yüksüz)* olmalıdırlar. Yani formül biriminde net yük sıfır olmalıdır. Bunun anlamı, bir Cl^- e bir Na^+ (NaCl de), iki I^- iyonuna bir Mg^{2+} (MgI_2 de) ve üç O^{2-} ye iki Al^{3+} (Al_2O_3 de) karşılık geliyor demektir. Çizelge 3.3 de metal ve ametallerden oluşmuş basit iyonların simge ve adları verilmektedir. Metal ve ametallerin ikili bileşiklerinin formül ve adlarını yazarken bu çizelgeden yararlanabilirsiniz. Aynı metaller birden fazla iyon halinde bulunabilirler. Bunların bileşiklerinin adlandırılmasında bu ayırıcılığa dikkat edilmelidir. Örneğin, demir metalinin yaygın *iki* iyonu vardır: Fe^{2+} ve Fe^{3+}. Bunları ayırt etmek için, birinciye *demir (II)* iyonu, diğerine *demir (III)* iyonu adını veririz. Metal adını izleyen Romen rakamı, metalin yükseltgenme basamağını, yani üzerindeki yükü belirtir. $FeCl_2$ ve $FeCl_3$ bileşiklerini adlandırmak için, birinciye *demir (II)* klorür, ikinciye *demir (III)* klorür denir.

Daha önceki adlandırma sisteminde, aynı iki elementi farklı oranlarda içeren iki ikili bileşiğin adlandırılması, örneğin Cu_2O ve CuO, iki farklı son ek kullanılarak yapılmaktaydı. Bu adlandırma günümüzde de bazen kullanılmaktadır. Cu_2O da bakırın yükseltgenme basamağı +1; CuO da +2 dir. Cu_2O nun adı *kupröz* oksit, CuO nunki ise *kuprik* oksittir. Benzer şekilde, $FeCl_2$ *ferröz* klorür, $FeCl_3$ *ferrik* klorürdür. Böyle bileşikleri ayırt etmek için, küçük yükseltgenme basamağındaki metal iyonunun Latince adının sonuna *-öz*

▶ Çizelge 3.3 deki sistematik çözümlenirse, çizelgenin içeriğini anlamak kolaylaşır. 1. grup iyonları 1+, 2.grup iyonları 2+ dir . Al^{3+}, Zn^{2+} ve Ag^{+} sadece 3+,2+ ve 1+ olarak bulunur. Diğer metal iyonlarının çoğu farklı yükler alabilirler. Tek atomlu halojen iyonları 1− , oksijen ise 2− dir. Yaklaşık hepsi için olan bir kural, Y.B toplamının toplam yüke eşit olması kuralıdır.

ÇİZELGE 3.3 Bazı Basit İyonlar

Adı	Simgesi	Adı	Simgesi
	Pozitif iyonlar (katyonlar)		
Lityum iyonu	Li^{+}	Krom (II) iyonu	Cr^{2+}
Sodyum iyonu	Na^{+}	Krom (III) iyonu	Cr^{3+}
Potasyum iyonu	K^{+}	Demir (II) iyonu	Fe^{2+}
Rubidyum iyonu	Rb^{+}	Demir (III) iyonu	Fe^{3+}
Sezyum iyonu	Cs^{+}	Kobalt (II) iyonu	Co^{2+}
Mağnezyum iyon	Mg^{2+}	Kobalt (III) iyonu	Co^{3+}
Kalsiyum iyonu	Ca^{2+}	Bakır (I) iyonu	Cu^{+}
Stronsiyum iyonu	Sr^{2+}	Bakır (II) iyonu	Cu^{2+}
Baryum iyonu	Ba^{2+}	Civa (I) iyonu	Hg_2^{2+}
Aluminyum iyonu	Al^{3+}	Civa (II) iyonu	Hg^{2+}
Çinko iyonu	Zn^{2+}	Kalay (II) iyonu	Sn^{2+}
Gümüş iyonu	Ag^{+}	Kurşun (II) iyonu	Pb^{2+}
	Negatif iyonlar (anyonlar)		
Hidrür iyonu	H^{-}	İyodür iyonu	I^{-}
Florür iyonu	F^{-}	Oksit iyonu	O^{2-}
Klorür iyonu	Cl^{-}	Sülfür iyonu	S^{2-}
Bromür iyonu	Br^{-}	Nitrür iyonu	N^{3-}

eki getirilir. Yükseltgenme basamağı büyük olanın Latince adının sonuna ise *-ik* eki getirilir. *"öz/ik"* sistemi yetersiz bir adlandırma sistemidir. Örneğin, vanadyumun şu dört oksidini (VO, V_2O_3, VO_2, V_2O_5) bu yöntemle adlandıramayız. Bu nedenle, bu kitapta kullanılmayacaktır.

İki Ametalin İkili Bileşikleri

İkili bileşik metal ve ametal arasında değil, yalnızca iki ametal arasında ise, bileşik molekül yapısındadır. Böyle bileşiklerin adlandırılmaları da metal − ametal ikili bileşiklerinin adlandırılmasına benzer. Örneğin,

HCl = hidrojen klorür

Pozitif yükseltgenme basamağına sahip element hem formül yazımında, hem de adlandırmada önce yazılır. Yani *ClH değil*, HCl biçiminde yazarız.

ÖRNEK 3-8 Adı Verilen Bileşiğin Formülünün Yazılması

Baryum oksit, kalsiyum florür ve demir (III) sülfürün formüllerini yazınız.

Analiz

Önce periyodik çizelgedeki grup numarasından veya adlarında Romen rakamı ile gösterilen yükseltgenme basamaklarından katyonları ve yüklerini belirleyiniz: Ba^{2+}, Ca^{2+} ve Fe^{3+}. Daha sonra anyonları ve yüklerini yazınız: O^{2-}, F^{-} ve S^{2-}. Katyon ve anyonları, yük toplamları sıfır olacak şekilde birleştiriniz.

Çözüm

baryum oksit: *bir* Ba^{2+} ve *bir* O^{2-} = BaO

kalsiyum florür: *bir* Ca^{2+} ve *iki* F^{-} = CaF_2

demir (III) sülfür: *iki* Fe^{3+} ve *üç* S^{2-} = Fe_2S_3

Değerlendirme

Birinci bileşiğin formül birimde +2 ve −2; ikinci bileşiğinkinde +2 ve 2×(1−); üçüncüsünde 2×(+3) ve 3×(2−) yük nötralliği sağlanmaktadır.

ALIŞTIRMA A: Lityum oksit, kalay (II) klorür ve lityum nitrür formüllerini yazınız.

ALIŞTIRMA B: Alüminyum sülfür, magnezyum nitrür ve vanadyum (III) oksidin formüllerini yazınız.

ÖRNEK 3-9 Formülü Verilen Bileşiğin Adlandırılması

Na_2S, AlF_3 ve Cu_2O bileşiklerini uygun biçimde adlandırınız.

Analiz

Böyle bir soruyu yanıtlamak, Örnek 3-8 dekinden daha kolaydır. Yapılacak iş, iyonları adlandırmaktır. Bakırın *iki* farklı iyonu bulunduğuna ve Cu_2O da bakırın Cu^+, yani bakır (I) biçiminde bulunduğuna dikkat ediniz.

Çözüm

NaS: sodyum sülfür

AlF_3: alüminyum florür

Cu_2O: bakır (I) oksit

Değerlendirme

İyonik bileşiklerin adlandırılmasında, Romen rakamlarının nerede kullanılması gerektiğini kestirmek bazen zor olabilir. Örneğin, 1. ve 2. grup metalleri sadece bir çeşit iyon oluşturabildiğinden (bir tane yükseltgenme basamakları olduğundan) bu metallerin bileşiklerini adlandırırken Romen rakamları kullanılmaz.

ALIŞTIRMA A: CsI, CaF_2, FeO ve $CrCl_3$ bileşiklerini uygun biçimde adlandırınız.

ALIŞTIRMA B: CaH_2, CuCl, Ag_2S, Hg_2Cl_2 bileşiklerini uygun biçimde adlandırınız.

Bazı ametal çiftleri birden çok bileşik yaparlar ve bunların adları farklıdır. Genelde atomların bağıl sayılarını ön eklerle: *mono* = 1, *di* = 2, *tri* = 3, *tetra* = 4, *penta* = 5, *heksa* = 6 vb. şeklinde belirtiriz. Buna göre, kükürdün başlıca iki oksidi,

SO_2 = kükürt *di*oksit

SO_3 = kükürt *tri*oksit

ve bor-brom bileşiği,

B_2Br_4 = *di*bor *tetra*bromür

biçiminde yazılır ve adlandırılır. Bu tür adlandırmaya örnekler Çizelge 3.4 de verilmektedir. Bu örneklerde *mono-* önekinin kullanılışına dikkat ediniz. İlk isimlendirilen elementin önüne *mono* eki konmaz. Örneğin, NO bileşiğine *mono*azot *mono*oksit *değil*, azot monooksit denir. Hemen belirtelim ki, birçok bileşiğin yaygın ve ticari adları o kadar yerleşmiştir ki, sisteme

ÇİZELGE 3.4 İkili Molekül Bileşiklerin Adlandırılması

Formülü	Adı[a]
BCl_3	Bor triklorür
CCl_4	Karbon tetraklorür
CO	Karbon monoksit
CO_2	Karbon dioksit
NO	Azot monoksit
NO_2	Azot dioksit
N_2O	Diazot monoksit
N_2O_3	Diazot trioksit
N_2O_4	Diazot tetroksit
N_2O_5	Diazot pentoksit
PCl_3	Fosfor triklorür
PCl_5	Fosfor pentaklorür
SF_6	Kükürt heksaflorür

[a] Önek "*a*" ya da "*o*" ile sona erer ve elementin adı "*a*" ya da "*o*" ile başlarsa, söylenme kolaylığı için, "*a*" ya da "*o*" sesli harfi düşer. Örneğin, karbon *mono*oksit değil, karbon *mon*oksit; diazot *tetra*oksit değil, diazot *tetr*oksit yazar ve söyleriz. Ancak, PI_3 için fosfor *tri*yodür değil, fosfor *tri*yodür deriz.

bağlı adları hemen hemen hiç kullanılmaz. Örneğin, parantez içindeki şu adlar hiç bir zaman kullanılmaz.

H_2O = su (*di*hidrojen *mon*oksit)

NH_3 = amonyak (H_3N = *tri*hidrojen *mon*onitrür)

İkili Asitler

Hidrojen klorür gibi adlar molekül yapısında olan bileşiklerin saf halleri için kullanılır, ancak bazı durumlarda bunların sulu çözeltilerinin asidik olduğunu vurgulamak isteriz. Asitlerin belirli bir tanımı olmakla birlikte, şimdilik böyle bileşikleri nasıl tanıyacağımızı ve formüllerinden nasıl adlandıracağımızı göreceğiz. Asitler bu kitabın sonraki bölümlerinde ayrıntılı bir şekilde tartışılmaktadır. Şimdilik suda *iyonlaştığı* zaman hidrojen iyonları (H^+)* ve anyonlar oluşturan bileşiklere *asit* demek yeterlidir. *İkili asit* H in ametallerle verdiği iki elementten oluşan bir bileşiktir. HCl suda çözündüğü zaman hidrojen iyonları (H^+) ve klorür iyonlarına (Cl^-) iyonlaşır. Dolayısı ile bir ikili asittir. NH_3 suda asit özelliği *göstermez*. Gerçekte, NH_3 hiç bir koşulda H^+ verme eğiliminde değildir. Ancak amonyak *baz* grubuna giren bir bileşiktir. Bölüm 5 de göreceğimiz gibi, bazlar sulu çözeltide OH^- oluşturan bileşiklerdir.

▶ (suda) simgesi, maddenin sulu çözeltide olduğunu belirtir.

İkili asitlerin adlandırılmasında ametal adının başına *hidro* önekini ve sonuna *ik* ekini yazarız. En önemli ikili asitler şunlardır:

HF(suda) = *hidroflorik* asit

HCl(suda) = *hidroklorik* asit

HBr(suda) = *hidro*brom*ik* asit

HI(suda) = *hidro*iyod*ik* asit

H_2S(suda) = *hidro*sülfür*ik* asit

Çok Atomlu İyonlar

Çizelge 3.3 de verilen iyonlar (Hg_2^{2+} dışında) *tek atomlu* iyonlardır. Her bir iyon tek bir atomdan ibarettir. **Çok atomlu iyonlarda** ise, iki ya da daha çok atom kovalent bağla bir arada tutulur. Böyle iyonlara özellikle ametaller arasında rastlanır. Bazı çok atomlu iyonlar ve bunların oluşturduğu bileşikler Çizelge 3.5 de verilmektedir. Bu çizelgeyi incelerseniz, aşağıdaki gerçekleri görebilirsiniz.

1. Çok atomlu anyonlar, çok atomlu katyonlara göre daha yaygındır. En iyi tanınan çok atomlu katyon amonyum (NH_4^+) katyonudur.
2. Çok atomlu anyonların çok azının adı "*ür*"eki ile sonlanır. Bunlardan biri CN^- (siyanür) anyonudur. En yaygın olarak "*it*" ve "*at*" ile sonlanırlar. Bazı adlar *hipo-* ve *per-* önekleri taşırlar.
3. Çoğu çok atomlu anyonda, başka ametallerle birleşmiş *oksijen* vardır. Böyle anyonlara **oksianyonlar** denir.
4. Bazı ametaller (Cl, N, P ve S gibi) farklı sayıda oksijen atomları içeren birden çok oksianyon verirler. Bunların adları, oksijenin bağlı olduğu ametalin yükseltgenme basamağına göre verilir ve "*hipo*" (en düşük) önekinden "*per*" (en yüksek) önekine değişen ekler alırlar. Önekler ve sonekler aşağıda verilmektedir.

Ametalin yükseltgenme basamağı artar →

hipo ___ *it* ___ *it* ___ *at* *per* ___ *at* **(3.3)**

Oksijen atomu sayısı artar→

*Suda oluşan tanecikler gerçekte basitçe gösterilen H^+ iyonundan daha karmaşıktır. H^+ iyonu H_2O molekülü ile birleşerek hidronyum iyonu (H_3O^+) denen taneciği verir. Fakat kimyacılar H_3O^+ yerine sık sık H^+ yazarlar. Bölüm 5 deki tartışmaya kadar H_3O^+ yerine H^+ kullanacağız.

ÇİZELGE 3.5 Bazı Yaygın Çok Atomlu İyonlar

Adı	Formülü	Örnek Bileşik
Katyon		
Amonyum iyonu	NH_4^+	NH_4Cl
Anyonlar		
Asetat iyonu	CH_3COO^-	$NaCH_3COO$
Karbonat iyonu	CO_3^{2-}	Na_2CO_3
Hidrojen karbonat iyonu[a] (ya da bikarbonat iyonu)	HCO_3^-	$NaHCO_3$
Hipoklorit iyonu	ClO^-	$NaClO$
Klorit iyonu	ClO_2^-	$NaClO_2$
Klorat iyonu	ClO_3^-	$NaClO_3$
Perklorat iyonu	ClO_4^-	$NaClO_4$
Kromat iyonu	CrO_4^{2-}	Na_2CrO_4
Dikromat iyonu	$Cr_2O_7^{2-}$	$Na_2Cr_2O_7$
Siyanür iyonu	CN^-	$NaCN$
Hidroksit iyonu	OH^-	$NaOH$
Nitrit iyonu	NO_2^-	$NaNO_2$
Nitrat iyonu	NO_3^-	$NaNO_3$
Okzalat iyonu	$C_2O_4^{2-}$	$Na_2C_2O_4$
Permanganat iyonu	MnO_4^-	$NaMnO_4$
Fosfat iyonu	PO_4^{3-}	Na_3PO_4
Hidrojen fosfat iyonu[a]	HPO_4^{2-}	Na_2HPO_4
Dihidrojen fosfat iyonu[a]	$H_2PO_4^-$	NaH_2PO_4
Sülfit iyonu	SO_3^{2-}	Na_2SO_3
Hidrojen sülfit iyonu[a] (ya da bisülfit iyonu)	HSO_3^-	$NaHSO_3$
Sülfat iyonu	SO_4^{2-}	Na_2SO_4
Hidrojen sülfat iyonu[a] (ya da bisülfat iyonu)	HSO_4^-	$NaHSO_4$
Tiyosülfat iyonu	$S_2O_3^{2-}$	$Na_2S_2O_3$

[a]Bu anyon adları bazan, hidrojenkarbonat, hidrojenfosfat gibi tek bir sözcük biçiminde yazılır.

◀ Öncelikle NH_4^+, CO_3^{2-}, OH^-, NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, ve ClO_3^- gibi en yaygın iyonları öğreniniz. İfade (3.3) deki şemayı kavradıktan sonra NO_2^-, SO_3^{2-}, ClO^-, ClO_2^- ve ClO_4^- gibi iyonların adlarını da öğrenmekte zorlanmazsınız. Zamanla diğer iyonlar da size yabancı gelmeyecektir.

5. Cl, Br ve I un başlıca oksi anyonları −1 yüklüdür.
6. Oksi anyonların bir kısmı değişen sayılarda H atomları da taşır ve buna göre adlandırılır. Örneğin, HPO_4^{2-} *hidrojen fosfat* iyonu, $H_2PO_4^-$ *dihidrojen fosfat* iyonudur.
7. Oksijen atomu yerine kükürt atomu geçmişse, "*tiyo*" öneki yazılır. (Sülfat iyonunda *bir* S ve *dört* O atomu, tiyosülfat iyonunda ise *iki* S ve *üç* O atomu vardır.)

Oksiasitler

Asitlerin çoğu **üçlü bileşiklerdir.** Bunlar *üç* farklı element (hidrojen ve iki başka ametal) taşırlar. Yani **oksiasitler** hidrojen iyonları (H^+) ile bir oksianyonun birleşmesinden oluşmuşlardır. Ametallerden birisi oksijen olan asitlere **oksiasitler** denir. Oksiasitlerin adlandırılması, oksianyonların adlandırılmasına benzer. Ancak, "*it*" yerine "*öz*", "*at*" yerine "*ik*" ekleri kullanılır. Bazı oksiasitler Çizelge 3.6 da verilmektedir. Bu çizelgede asitlerin hidrojeni yerine sodyum gibi bir metalin geçmesiyle oluşan bileşikler de gösterilmektedir. Böyle bileşiklere ***tuzlar*** denir. Tuzlar hakkındaki geniş bilgi Bölüm 5 den başlayarak kitabın sonraki kısımlarında yer alacaktır. Asitler molekül yapısında, tuzlar ise iyonik yapıda bileşiklerdir.

▶ Örneğin, perklorik asit dediğimiz zaman genellikle $HClO_4$ ün sulu çözeltisini kastederiz.

ÇİZELGE 3.6 Bazı Oksiasit ve Tuzların Adlandırılması

Yükseltgenme Basamağı	Asidin[a] Formülü	Asidin Adı[b]	Tuzun Formülü[b]	Tuzun Adı
Cl: +1	$HClO$	*Hipo*kloröz asit	$NaClO$	Sodyum *hipo*klorit
Cl: +3	$HClO_2$	Kloröz asit	$NaClO_2$	Sodyum klorit
Cl: +5	$HClO_3$	Klorik asit	$NaClO_3$	Sodyum klorat
Cl: +7	$HClO_4$	*Per*klorik asit	$NaClO_4$	Sodyum *per*klorat
N: +3	HNO_2	Nitröz asit	$NaNO_2$	Sodyum nitrit
N: +5	HNO_3	Nitrik asit	$NaNO_3$	Sodyum nitrat
S: +4	H_2SO_3	Sülfüröz asit	Na_2SO_3	Sodyum sülfit
S: +6	H_2SO_4	Sülfürik asit	Na_2SO_4	Sodyum sülfat

[a] Bütün bu asitlerde H atomu merkez ametal atoma değil, O atomuna bağlıdır. Bunu belirtmek için formül yazımında, çoğu kez değişiklik yapılarak, örneğin HClO yerine HOCl, $HClO_2$ yerine HOClO vb. yazılır.

[b] Genellikle, *ik* ve *at* adları, merkez ametal atomunun yükseltgenme basamağı, periyodik çizelgedeki grup numarası −10 a eşit olduğu zaman kullanılır. Halojen bileşikleri bu kuralın dışında olup, *ik* ve *at* adları (grup 7 olmalarına karşın) +5 yükseltgenme basamağında merkez halojen atomları için kullanılır.

ÖRNEK 3-10 Adlandırma Kurallarının Uygulanması

Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız: **(a)** $CuCl_2$; **(b)** ClO_2; **(c)** HIO_4; **(d)** $Ca(H_2PO_4)_2$.

Analiz

$CuCl_2$ ve $Ca(H_2PO_4)_2$ iyonik bileşiklerdir. Bu bileşikleri adlandırmak için iyonları belirleyip adlandırmamız gerekir. ClO_2 ve HIO_4 molekül yapısında bileşiklerdir. ClO_2 iki ametalin ikili bileşiği, HIO_4 ise bir oksiasittir.

Çözüm

(a) Cu ın yükseltgenme basamağı +2 dir. Cu aynı zamanda +1 yükseltgenme basamağında da bulunabildiğinden, iki bileşiği birbirinden ayırt etmemiz gerekir. Buna göre $CuCl_2$, bakır (II) klorürdür.

(b) Cl ve O ametaldir. ClO_2 molekül yapısında ikili bir bileşiktir. Adı, klor dioksittir.

(c) I un yükseltgenme basamağı +7 dir. Çizelge 3.6 daki klor içeren bileşiklere benzeterek, periyodik asit adını veririz.

(d) Bu çok atomlu anyon, $H_2PO_4^-$, dihidrojen fosfat iyonudur. Bileşikte her Ca^{2+} için iki $H_2PO_4^-$ vardır ve adı kalsiyum dihidrojen fosfattır.

Değerlendirme

Bileşikleri doğru olarak adlandırabilmek için bazı kuralları ezberlemek ve bol bol alıştırma yapmak gerekir.

ALIŞTIRMA A: Formülleri verilen bileşikleri adlandırınız: SF_6, HNO_2, $Ca(HCO_3)_2$, $FeSO_4$.

ALIŞTIRMA B: Formülleri verilen bileşikleri adlandırınız: NH_4NO_3, PCl_3, $HBrO$, $AgClO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$.

Bazı Karmaşık Bileşikler

▶ Ortaya konulan nokta (•),genellikle formülün iki ya da daha çok basit formüllerden oluştuğunu gösterir.

Joseph Proust'un sabit oranlar yasasını göstermek için üzerinde çalıştığı (sayfa 36) bakır bileşiği birkaç şekilde yazılabilir. Proust'un bu bileşiği mineral el kitaplarında *malahit* adını alır ve $Cu_2(OH)_2CO_3$ ile gösterilir. Eczacılık ile ilgili kitaplarda aynı bileşiğin adı *bazik bakır(II) karbonattır ve* $CH_2Cu_2O_5$ biçiminde yazılır. Kimya el kitaplarında ise *bakır (II) karbonat dihidroksit* adı verilir ve $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ biçiminde gösterilir. Burada önemli olan kullanılan formül değil, mol kütlesinin aynı (221,116 g/mol)

ÖRNEK 3-11 Formül Yazım Kurallarının Uygulanması

Aşağıdaki bileşiklerin formüllerini yazınız: **(a)** tetraazot tetrasülfür; **(b)** amonyum kromat; **(c)** bromik asit; **(d)** kalsiyum hipoklorit.

Analiz

Tetra gibi ön ekler, ik gibi son ekler ve *amonyum, kromat* ve *hipoklorit* gibi çok atomlu iyonların yaygın isimlerini uygulamalıyız.

Çözüm

(a) Bu bileşiğin molekülleri *dört* azot ve *dört* kükürt atomu içerir. Formülü N_4S_4 tür.

(b) Her bir kromat iyonu (CrO_4^{2-}) için iki amonyum iyonu (NH_4^+) gerekir. NH_4^+ iyonunu parantez alınız ve 2 indisi yazınız. Formül $(NH_4)_2CrO_4$ tür.

(c) Halojenlerin oksi asitlerinde "ik" eki, halojenin +5 yükseltgenme basamağında olduğunu gösterir (Halojenler grup 7 dedirler). Bromik asidin formülü $HBrO_3$ tür (Çizelge 3.6 da $HClO_3$ gibi).

(d) Formül biriminde *bir* Ca^{2+} ve *iki* ClO^- iyonu vardır. Yani formül $Ca(ClO)_2$ dir.

Değerlendirme

Bir iyonik bileşik **(b)** ve **(d)** şıklarındaki gibi iki veya daha çok sayıda aynı türden çok atomlu iyonlar içeriyorsa, bu iyonların formülü yük gösterilmeden parantez içinde yazılır ve sayıları da alt indis ile belirtilir. Formül yazımında parantezlerin doğru yerde kullanılması önemlidir.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki bileşiklerin formüllerini yazınız: bor triflorür, potasyum dikromat, sülfürik asit, kalsiyum klorür.

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki bileşiklerin formüllerini yazınız: alüminyum nitrat, tetrafosfor dekaoksit, krom (III) hidroksit, iyodik asit.

olması, aynı bakır yüzdesini (%57,48 Cu) ve aynı H/O oranını (2 mol H/5 mol O) taşımasıdır. Kısacası, ne kadar karmaşık görünse de formülü açıklayabilmeniz önemlidir.

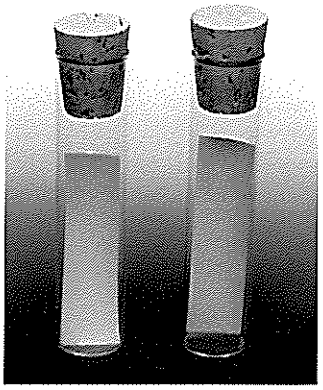
Sık sık karşılaşacağımız bazı karmaşık bileşikler de hidratlardır. **Hidratlar**da bileşiğin formül birimi belli sayıda su molekülü içerir. Ancak su molekülü içermesi bileşiğin "ıslak" olduğunu göstermez. Çünkü su molekülleri bileşiğin katı yapısında, birleşmiş haldedir. Aşağıdaki formül her bir $CoCl_2$ formül biriminde *altı* H_2O molekülü olduğunu belirtir.

$$CoCl_2 \cdot 6H_2O$$

Altı anlamında *heksa-* önekini kullanarak bileşiği kobalt (II) klorür *heksa*hidrat biçiminde adlandırırız. Bileşiğin formül kütlesi, $CoCl_2$ nin kütlesi *artı* altı H_2O nun kütlesidir: 129,839 akb + (6 × 18,0153 akb) = 237,931akb. Hidrattaki suyun miktarını kütlece su yüzdesi olarak verebiliriz. $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ nun su yüzdesi şöyle bulunur:

$$\%\ H_2O = \frac{(6 \times 18{,}0153)\ g\ H_2O}{237{,}931\ g\ CoCl_2 \cdot 6\ H_2O} \times \%100 = \%45{,}43$$

Bileşikte hidrat suyu olarak bulunan su ısıtılarak kısmen ya da tamamen uzaklaştırılabilir. Su tamamen uzaklaştırıldığında geri kalan bileşiğe *susuz* denir. Yakma analizinde susuz magnezyum perkloratın kullanıldığı gibi (Şekil 3-6), susuz bileşikler su tutmakta (nem çekici olarak) kullanılabilirler. $CoCl_2$ kolay su çeker ve kolay su kaybeder. Bu olay renk değişiminden anlaşılır. Susuz $CoCl_2$ mavi, heksahidratı ise pembedir. Bu özellikten, basit nem detektörü yapmakta yararlanılabilir (Şekil 3-8).



▲ ŞEKİL 3-8
Nemin $CoCl_2$ ye etkisi
Bir parça süzgeç kağıdı kobalt (II) klorürün sulu çözeltisine batırılır ve kurutulur. Kağıt kuru hava içinde mavi renk alır (susuz $CoCl_2$). Nemli ortamda kağıdın rengi pembeye değişir ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$).

3-7 Organik Bileşiklerin Adları ve Formülleri

Organik bileşikler doğada çok fazladır. Yiyeceklerimizin hemen hemen tamamı organik bileşiklerdir. Bunlar arasında sadece enerji veren yağlar, karbonhidratlar ve kas yapıcı proteinler yoktur, aynı zamanda bu yiyeceklere renk, koku ve tat veren bileşikler de vardır. Otomobillerde, kamyonlarda, trenlerde veya uçaklarda kullanılan, hemen hemen bütün yakıtlar, hidrokarbonlar olarak adlandırılan organik bileşiklerin karışımıdır. İlaç firmalarının ürettiği pek çok ilaç karmaşık organik bileşiklerdir. Plastikler de böyledir. Organik bileşiklerin sayısının ve çeşitliliğinin çok fazla olması, *organik kimyanın* ayrı bir kimya dalı olmasına neden olmuştur.

UNUTMAYINIZ
Karbon atomu dört kovalent bağ yapar.

Organik bileşiklerin bu kadar çok olması, karbon atomlarının diğer karbon atomları ve bazı diğer element atomları ile bileşik oluşturabilmesinden kaynaklanır. Karbon atomları birbirleriyle birleşerek bir zincir ya da halka yapısı iskeleti oluşturabilirler ve diğer atomlar bu iskelete bağlanırlar. Bütün organik bileşikler karbon atomları, büyük çoğunluğu hidrojen atomları ve pek çoğu da oksijen, azot ya da kükürt atomları içerirler. Bu olasılıklar sınırsız sayıda farklı organik bileşiğin oluşumuna izin verir. Organik bileşiklerin büyük çoğunluğu molekül bileşiklerdir, sadece birkaçı iyoniktir.

Pek çoğu oldukça karmaşık molekül yapılı, milyonlarca organik bileşik vardır. Bu bileşiklerin adlandırılması da aynı şekilde karmaşıktır. Bu bileşiklerin sistematik adlandırılması çok önemlidir. İyi tanınan bir tatlandırıcının yaygın veya ticari adı sakkarozdur (şeker). Sistematik adı ise α-D-glukopiranozil-β-D-fruktofuranosittir. Şimdilik sadece organik bileşikleri tanımamız ve yaygın ve sıklıkla kullanılan sistematik adlarını kullanabilmemiz önemlidir. Organik bileşiklerin ayrıntılı sistematik adlandırılmasını Bölüm 26 da göreceğiz.

Hidrokarbonlar

Sadece karbon ve hidrojen içeren bileşikler **hidrokarbonlar** olarak bilinirler. En basit hidrokarbon bir karbon ve dört hidrojen atomu içerir. Bu bileşik metandır (CH_4) (Şekil 3.9a). Karbon atomu sayısı arttıkça, hidrokarbona bağlı olarak hidrojen sayısı da sistematik olarak artar. Organik kimyanın karmaşıklığı, karbon atomlarının zincir ve halka oluşturabilmesinden ve karbonlar arasındaki kimyasal bağların çeşitliliğinden kaynaklanır. Sadece tekli bağlar içeren hidrokarbonlar **alkanlar** olarak adlandırılır. En basit alkan ise metandır. Metanı, etan (C_2H_6) izler (Şekil 3-9b) ve sonra propan (C_3H_8) gelir (Şekil 3-9c). Serinin dördüncü üyesi bütandır (C_4H_{10}) (Şekil 3-2a da gösterilmişti). Alkan serisinde birinden diğerine ilerlerken bir C ve iki H atomunun ilave edildiğini unutmayınız.

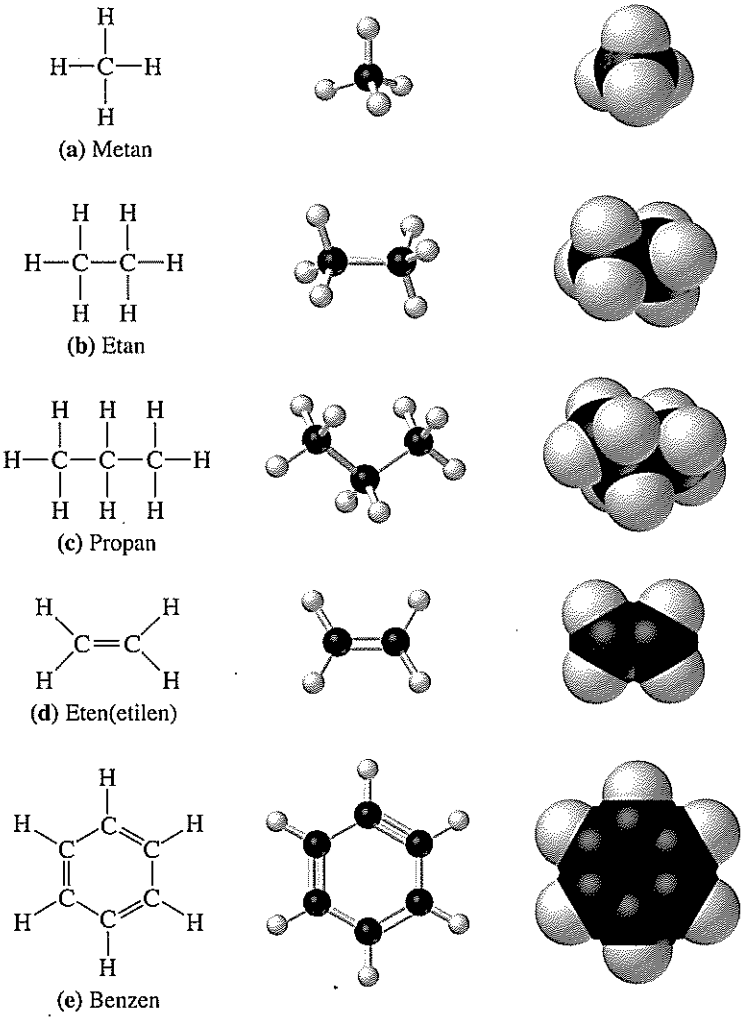
ÇİZELGE 3.7 Basit Organik Moleküllerde Karbon Sayısını Belirten Kelime Kökleri

Kök (ya da önek)	C Atomlarının Sayısı
Met-	1
Et-	2
Prop-	3
But-	4
Pent-	5
Heks-	6
Hept-	7
Okt-	8
Non-	9
Dek-	10

Alkanların adları iki kısımdan oluşur: Bunlar karbon atom sayısını belirten kök (Çizelge 3-7) ve molekülün *alkan* olduğunu belirten *an* son ekidir. Buna göre C_5H_{12} pentan ve C_7H_{16} heptandır (hepta = 7).

Karbon atomları arasında bir ya da daha fazla ikili bağ olan hidrokarbon molekülleri *alkenler* olarak adlandırılır. En basit alken etendir (Şekil 3-9d) ve adı *et-* kökünü ve *en* sonekini içerir. Benzen molekülü, C_6H_6, altı karbon atomu altıgen halkada düzenlenmiş bir moleküldür (Şekil 3-9e). Benzen yapısı içeren bileşikler, bilinen organik bileşiklerin çok büyük bir kısmını oluşturur.

Şekil 3-2 ye (sayfa 71) tekrar bakarsanız, bütan ve metilpropanın molekül formüllerinin aynı, C_4H_{10}, fakat farklı yapılarda olduğunu görürsünüz. Çünkü bütan dört karbonlu bir zincir yapıdadır. Metilpropan ise üç



◀ ŞEKİL 3-9
Bazı hidrokarbonların gösterilişi

karbonlu propan zincirinin ortasındaki karbona bir $—CH_3$ grubunun (*metil* grubu) bağlandığı farklı bir moleküldür. Burada bütan ve metilpropan birbirinin *izomeridir*. **İzomerler** aynı molekül formüllü, ancak uzayda atomlarının düzenlenmesi farklı olan moleküllerdir. Organik bileşikler karmaşıklaştıkça, olası izomer sayısı hızla artar.

ÖRNEK 3-12 İzomerlerin Tanınması

Aşağıdaki molekül çiftleri birbirinin izomeri midir, yoksa değil midir?

(a) $CH_3CH(CH_3)(CH_2)_3CH_3$ ve $CH_3CH_2CH(CH_3)(CH_2)_3CH_3$

(b) $CH_3—CH(CH_2—CH_3)—CH_2—CH_3$ ve $CH_3—CH(CH_3)—CH_2—CH_2—CH_3$

Analiz

İzomerler aynı molekül formülünde fakat farklı yapılardır. Önce, soruda verilen molekül çiftlerinin molekül formüllerinin aynı olup olmadığını kontrol ederiz. Formüller *aynı değilse farklı* bileşikler olarak belirtiriz. Formüller *aynı ise*, yapıları *farklı* olmak koşulu ile izomer *olabilirler*.

Çözüm

(a) İlk bileşiğin molekül formülü C_7H_{16} dir. İkinci bileşiğin molekül formülü C_8H_{18} dir. Bu iki bileşik birbirinin izomeri değildir.

(devam ediyor)

(b) Bu moleküllerin molekül formülü aynıdır, yani C_6H_{14} dir, ancak yapıları farklıdır. O halde, Bu iki molekül birbirinin izomeridir. Bu iki molekül arasındaki yapısal farklılık şöyledir. İlk yapıda metil grubu beş karbonlu zincirin üçüncü karbonundadır. İkinci yapıda ise metil grubu beş karbonlu zincirin ikinci karbonundadır.

Değerlendirme

(a) daki bileşiklerin molekül formülleri farklıdır, bu nedenle bunların farklı bileşikler olduğu açıktır. Bu tür bileşiklerin özellikleri çok farklı olacaktır. (b) deki bileşiklerin molekül formülleri aynı, molekül yapıları ise farklıdır. Bunlar da farklı bileşikler olup özellikleri farklıdır. Örneğin, (b) de sol taraftaki bileşiğin kaynama noktası, 63°C, sağdaki bileşiğinkinden, 60°C, biraz daha yüksektir.

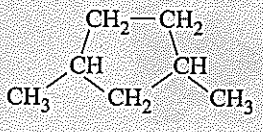
ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki molekül çiftleri birbirinin izomeri midir?

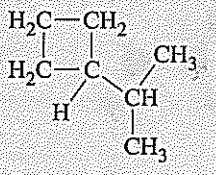
(a) $CH_3C(CH_3)_2(CH_2)_3CH_3$ ve $CH_3CH(CH_3)CH(CH_3)(CH_2)_3CH_3$

(b) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_2-CH_2-CH_3}{\overset{\displaystyle |}{CH}}-CH_2-CH_3$ ve $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{CH}}-CH_3$

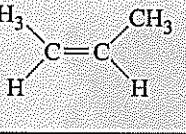
ALIŞTIRMA B: Aşağıda yapısal formülleri verilen molekül çiftleri birbirinin izomeri midir?

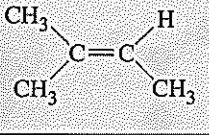
(a)





(b)





3-7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir hidrokarbon yandığında oluşan H_2O kütlesinin, oluşan CO_2 kütlesini aşması mümkün müdür? Açıklayınız.

İşlevsel Gruplar

Karbon zincirleri organik bileşiklerin iskeletini oluşturur; karbon zincirindeki hidrojenlerin birinin ya da daha fazlasının yerine başka atomlar ya da atom grupları geçmesi ile farklı bileşikler oluşur. Bu durumu, bira, şarap ve uyarıcılarda yaygın olarak bulunan alkol molekülünü örnek vererek gösterebiliriz. Bu molekül, etandaki bir H yerine bir —OH grubunun geçmesiyle oluşan *etanol*dür (C_2H_5OH) (Şekil 3.10a). Etanolün sistematik adı bir alkan olan etandan türemiştir. Etan adının sonuna *ol* son eki gelmiştir. —OH gruplarının varlığını belirten *ol* son ekini içeren organik bileşikler sınıfına **alkoller** denir.

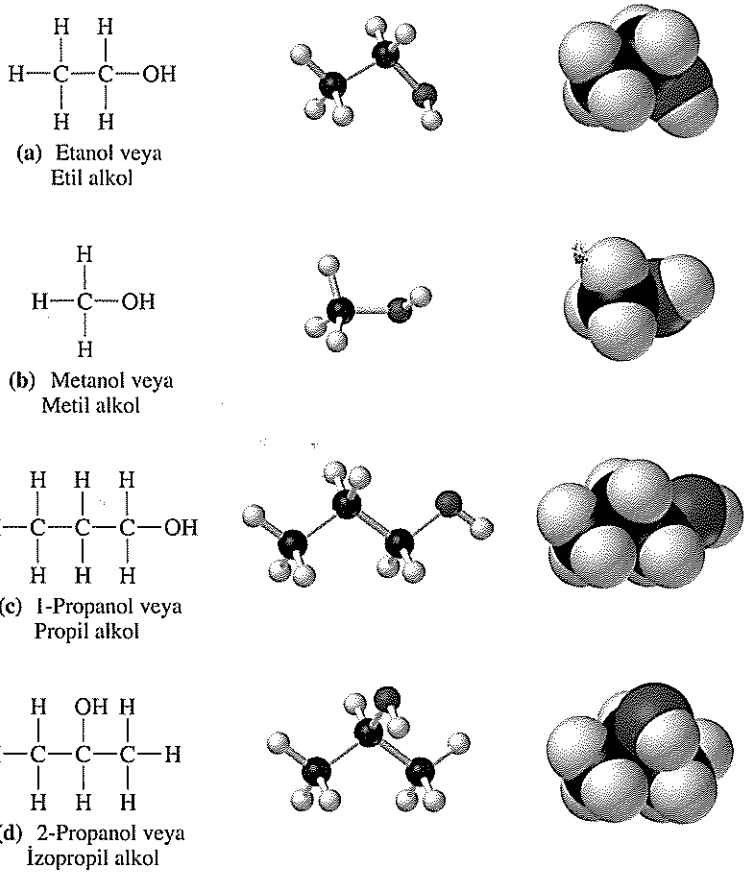
UNUTMAYINIZ

Alkoller, oksijen atomlarının karbon atomlarına kovalent bağlarla bağlandığı kovalent moleküllerdir. Alkoller hidroksit iyonu içeren iyonik bileşikler değildir.

Etil alkol, etanolün yaygın adıdır. Bu alkol etan hidrokarbon zincirine —OH grubunun bağlanması ile oluşmuştur. Adlandırmada alkan zincirindeki *an* son eki yerine *il* son eki getirilerek etandan *etil* kelimesi oluşturulur. Buna alkol kelimesi eklenerek *etil alkol* CH_3CH_2OH denir. Genellikle bir bileşik için yaygın olan ad (örneğimizde alkoldür) o sınıfın tümü için genel bir ad olarak kullanılır. Bütün alkoller en azından bir —OH grubu içerirler.

Bir diğer yaygın alkol, *metanol* ya da odun alkolüdür ve formülü CH_3OH dır (Şekil 3-10b). Metanolün yaygın adı ise metil alkoldür. Odun alkolu zehirlidir. Bira ve şaraptaki hububat alkolü uygun miktarda tüketildiğinde tehlikesiz iken, odun alkolü tehlikeli ve zehirlidir.

Alkollerdeki —OH grubu, organik bileşiklerde bulunan pek çok *işlevsel gruplar*dan biridir. **İşlevsel gruplar** organik moleküllerin zincir veya hal-

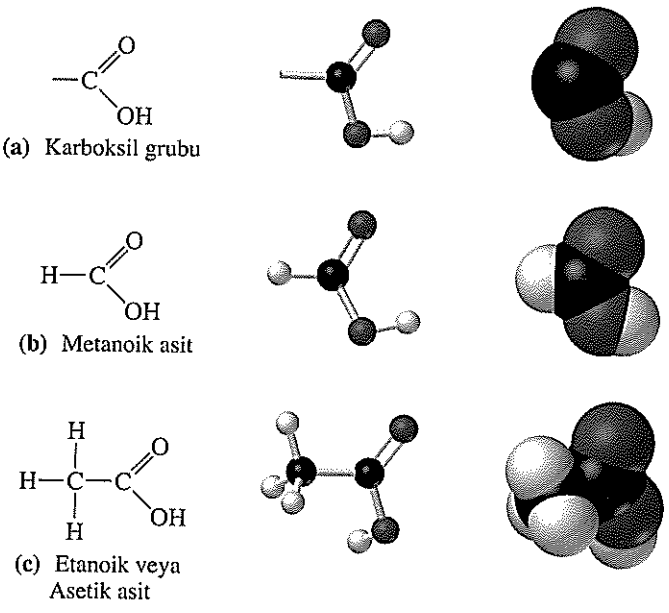


◀ ŞEKİL 3-10
Bazı alkollerin gösterilişi

kasına bağlı atom veya atom grupları olup moleküllere kendilerine özgü özelliklerini verirler. Aynı işlevsel gruplu bileşiklerin özellikleri genellikle birbirine benzer. —OH işlevsel grubu *hidroksil grubu*dur. Şimdilik bir kaç işlevsel grubu vereceğiz ve işlevsel grupları ayrıntılı bir şekilde Bölüm 26 da inceleyeceğiz.

İşlevsel grupların varlığı izomer olasılığını da arttırır. Örneğin, sadece bir tane propan molekülü vardır, C_3H_8. Ancak propandaki hidrojenlerden birisinin yerine hidroksil grubu geçerse, —OH propanın uçtaki karbon atomlarından birine veya ortadaki karbona bağlanabilir. Yani —OH in iki yere bağlanma olasılığı vardır (Şekil 3.10c ve d). Bu da iki izomere neden olur. Hidroksil grubunun uçtaki karbona bağlanması durumunda propil alkol ya da sistematik adlandırma ile 1-propanol oluşur. 1-öneki OH grubunun birinci karbona bağlandığını gösterir. Hidroksil grubunun ortadaki karbona bağlanması durumunda ise izopropil alkol veya sistematik adlandırmada 2-propanol oluşur. 2-öneki —OH grubunun ikinci karbona bağlı olduğunu gösterir.

Diğer bir önemli işlevsel grup *karboksil* grubu —COOH ya da $—CO_2H$ dır. Bu grup molekülü asidik yapar. Karboksil grubundaki C atomu iki oksijene iki şekilde bağlanabilir. Birisi, hidrojene bağlı olan oksijenle tekli bağ, diğeri ise oksijene ikili bağ şeklindedir (Şekil 3-11a). Karboksil grubundaki *iyonlaşabilen (asidik)* hidrojen oksijen atomuna bağlı olan hidrojendir. Karboksil grubunu içeren moleküller **karboksilli asitler** olarak bilinirler. En basit karboksilli asit, alkan adından türetilen adı ile *metanoik* asittir, HCOOH, (Şekil 3-11b). Sistematik adlandırmada *metan* kelimesi molekülde *bir* karbon bulunduğunu ve *oik*– asit son eki de bileşiğin asit olduğunu gösterir. Metanoik asidin yaygın adı formik asittir. Latince *karınca* anlamına gelen *formika*dan gelmektedir. Çünkü karınca ısırdığı zaman formik asit salgılar ve ısırma yerinde yanma hissi uyandırır.



▶ ŞEKİL 3-11
Karboksil grubu ve iki karboksilli asidin gösterilişi

İki karbon içeren en basit karboksilli asit, yaygın olarak asetik asit ismiyle bilinen *etanoik* asittir. Etanoik asidin molekül formülü CH_3COOH dır ve yapısı Şekil 3-11(c) de gösterilmiştir. Sirke asetik asidin sudaki çözeltisidir. Aşağıdaki örneklerde yar alacak olan bir başka işlevsel grup da halojen atomları (F, Cl, Br ve I) olup, bir veya daha fazla hidrojenin yerine geçebilirler. İşlevsel grup olarak bulunduklarında halojenler *flor-*, *klor-*, *brom-*, ve *iyot-* olarak adlandırılırlar.

ÖRNEK 3-13 Organik Bileşik Çeşitlerinin Tanınması

Aşağıdakiler ne çeşit organik bileşiklerdir?

(a) $CH_3CH_2CH_2CH_3$ (b) $CH_3CHClCH_2CH_3$

(c) $CH_3CH_2CO_2H$ (d) $CH_3CH_2CH(OH)CH_2CH_3$

Analiz

Her bileşiğin formülünü inceleyip varsa işlevsel grubu tanımlayınız. Ayrıca karbon- karbon bağlarının tekli olup olmadığına karar veriniz.

Çözüm

(a) Bu hidrokarbonda karbon-karbon bağları tekli bağdır. Bu bir alkan bileşiğidir.

(b) Bu molekülde sadece tekli bağlar vardır ve bir H atomunun yerine bir Cl atomu geçmiştir. Bu bir kloralkan bileşiğidir.

(c) Bu molekülde karboksil grubunun —CO_2H bulunması, bileşiğin bir karboksilli asit olduğunu gösterir.

(d) Bu bileşikte hidroksil grubunun —OH bulunması bileşiğin bir alkol olduğunu gösterir.

Değerlendirme

Karbon- hidrojen ve karbon- karbon bağları, özellikle de karbon- karbon bağları, oldukça reaktif olmayan bağlardır. Bu nedenle organik bileşiklerin özelliklerini belirlemekte işlevsel grupların önemi büyüktür. Bölüm 26 ve 27 de diğer işlevsel grupları tanıyıp, organik bileşikleri daha ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki formüller ne çeşit bileşiklere aittir?

(a) $CH_3CH_2CH_3$ (b) $ClCH_2CH_2CH_3$

(c) $CH_3CH_2CH_2CO_2H$ (d) $CH_3CHCHCH_3$

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki formüller ne çeşit bileşiklere aittir?

(a) $CH_3CH(OH)CH_3$ (b) $CH_3CH(OH)CH_2CO_2H$

(c) $CH_2ClCH_2CO_2H$ (d) $BrCHCHCH_3$

ÖRNEK 3-14 Organik Bileşiklerin Adlandırılması

Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız.

(a) $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$ (b) $CH_3CHFCH_2CH_3$

(c) $CH_3CH_2CO_2H$ (d) $CH_3CH_2CH(OH)CH_2CH_3$

Analiz

Önce, bileşiğin hangi tip olduğunu belirleyiniz. Bundan sonra bileşikteki karbon atomlarını sayıp Çizelge 3-7 den adlandırma için uygun kök seçiniz. Bileşik bir alkol ise köke *-ol*, karboksilli asit ise *-oik* asit soneki ekleyiniz.

Çözüm

(a) Yapı, beş karbon zincirli bir alkandır. Bileşik pentandır.

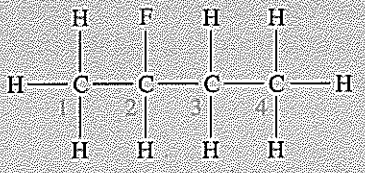
(b) Yapı, dört karbon zincirli bir alkanın ikinci karbonunda F atomu bulunan bir flor alkandır. Bileşik 2-florbütan dır.

(c) Bu yapıda üç karbonlu zincirin uç karbonu karboksil grubu içermektedir. Bileşik propanoik asittir.

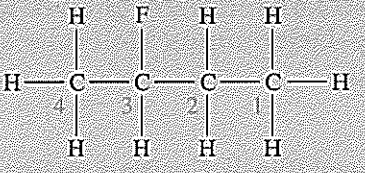
(d) Bu bileşik beş karbonlu zincirin üçüncü karbonunda hidroksil grubu içermektedir. Bileşik 3-pentanoldür.

Değerlendirme

(b) deki bileşiği adlandırırken dört karbon zincirli bir alkanın ikinci karbonunda F atomu bulunduğunu belirttik. Aşağıda gösterildiği gibi karbon atomlarını farklı bir biçimde numaralayabilirdik; ancak zincirdeki karbonlar, işlevsel grubun yeri mümkün olan en küçük rakamla gösterilecek şekilde numaralandırılır. Bu nedenle, 2- florbütan adı doğrudur.



2-florbütan
(doğru)

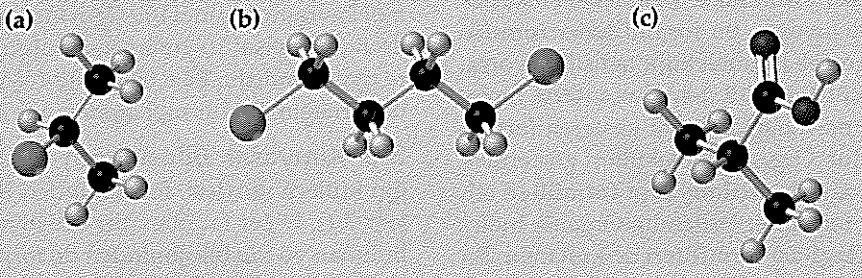


3-florbütan
(yanlış)

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız: (a) $CH_3CH(OH)CH_3$, (b) $ICH_2CH_2CH_3$, (c) $CH_3CH(CH_3)CH_2CO_2H$ ve (d) CH_3CHCH_2.

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki top-çubuk modellerine karşılık gelen moleküller için uygun adlar yazınız.

(a) (b) (c)



ÖRNEK 3-15 Organik Bileşiklerin Adlarından Yapı Formüllerinin Yazılması

Aşağıdaki organik bileşiklerin yoğunlaşmış yapı formüllerini yazınız: **(a)** Bütan, **(b)** bütanoik asit, **(c)** 1-klorpentan, **(d)** 1-heksanol.

Analiz

Önce bileşikteki karbon sayısını, sonra da varsa işlevsel grubun yerini ve çeşidini belirleyiniz.

Çözüm

(a) *büt-* kökü yapının dört-karbonlu zincir ve *-an* son eki de alkan olduğunu gösterir. İşlevsel grup yoktur. Yoğunlaşmış yapı formülü $CH_3(CH_2)_2CH_3$ dür.

(b) *oik-* son eki dört karbonlu zincirin son karbonunun bir karboksilli asit grubu olduğunu gösterir. Yoğunlaşmış yapı formülü $CH_3(CH_2)_2CO_2H$ dir.

(c) *klor-* öneki H atomunun yerine klor atomunun geçtiğini ve 1-rakamı da klorun birinci karbonda olduğunu gösterir. *Pent-* kökü zincirin beş karbonlu olduğunu belirtir. Yoğunlaşmış yapı formülü $CH_3(CH_2)_3CH_2Cl$ dir.

(d) *-ol* son eki H atomu yerine *hidroksil* grubunun, —OH, geçtiğini, 1—rakamı da —OH in karbon zinciri üzerinde birinci karbonda bulunduğunu gösterir. *Heks-* kökü zincirin altı karbonlu olduğunu belirtir. Yoğunlaşmış yapı formülü $CH_3(CH_2)_4CH_2OH$ dır.

Değerlendirme

Özetleyecek olursak, bir organik bileşiğin adından yapısal formülünü yazmak için, bileşiğin adını kök, önek, sonek gibi bileşenlerine ayırırız; bu bileşenlerin her biri molekülün yapısı hakkında bilgi verir.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki organik bileşiklerin her biri için yoğunlaşmış yapı formülünü yazınız: **(a)** pentan, **(b)** etanoik asit, **(c)** 1-iyotoktan, **(d)** 1-pentanol.

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki organik bileşiklerin her biri için çizgi–açı formülünü yazınız: **(a)** propen, **(b)** 1-heptanol, **(c)** klorasetik asit, **(d)** heksanoik asit.

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Molekül ve yapı formüllerin belirlenmesinde kütle spektrometresinin kimyacılar tarafından nasıl kullanıldığını görmek için bakınız: Focus on feature for Chapter 3, Mass Spectrometry–Determining Molecular and Structural Formulas on the MasteringChemistry site.

Özet

3-1 Kimyasal Bileşik Çeşitleri ve Formülleri—Kimyasal bileşikler iki sınıfta toplanırlar: **Molekül bileşikler** ve **iyonik bileşikler**. Molekül bileşiklerin temel birimi molekül, iyonik bileşiğin temel birimi ise **formül birimi**dir. Formül birimi artı yüklü **katyon**larla eksi yüklü **anyon**lardan oluşan yüksüz, en küçük birimdir. **Kimyasal formül**, çok farklı biçimlerde gösterilebilen kimyasal bileşiğin (Şekil 3-1) simgesel bir gösterimidir. Eğer formüldeki alt indisler en küçük tam sayılardan oluşuyorsa, bu formül **kaba formül**dür; eğer formül gerçek bir molekülü temsil ediyorsa, bu formüle **molekül formülü** denir; atomların molekülde birbirlerine nasıl bağlandığını gösteren formül ise **yapı formülü**dür. Organik molekülleri göstermek için çoğu zaman **yoğunlaştırılmış yapı formülleri** adı verilen kısaltılmış formüller kullanılır. Organik moleküller için ayrıca **çizgi-açı formülleri** de kullanılır. Bu formüllerde C ve H simgeleri ile, C ile H arasındaki bağlar gösterilmez ve diğer bağlar çizgiler ile gösterilir. Moleküllerdeki atomların yerleri ve bağıl boyutları da top-çubuk ve uzay - dolgu modelleri ile gösterilebilir.

3-2 Mol Kavramı ve Kimyasal Bileşikler—Bu kesimde atom kütlesi kavramından, molekül yapısındaki bileşiğin bir molekülünün akb cinsinden kütlesi olan **molekül kütlesine** ve iyonik bir bileşiğin bir formül biriminin akb cinsinden kütlesi olan **formül kütlesine** geçilmiştir. Aynı şekilde, Avogadro sayısı ve mol kavramı, bir mol bileşiğin kütlesi, **mol kütlesi**, *M*, ile ilgili sayısal uygulamalar vurgulanarak bileşiklere uygulanmıştır. Bazı elementler için bir mol molekül ile (örneğin, P_4) bir mol atom (yani P) farklıdır.

3-3 Kimyasal Bileşiklerin Bileşimi—Bir bileşiğin kütlece yüzdesi, formülünden bulunabilir (denklem 3.1). Diğer taraftan, bir bileşiğin deneysel olarak bulunan yüzde bileşiminden de formülü elde edilebilir. Organik bileşikler için bu, genellikle yakma analizi gerektirir (Şekil 3-6). Deneysel olarak elde edilen yüzde bileşim verilerinden bulunan formüller kaba for-

müller olup, bir bileşik için yazılabilen en basit formüllerdir. Bileşiğin deneysel olarak bulunmuş mol kütlesi biliniyorsa, kaba formülden faydalanılarak molekül formülü de bulunur.

3-4 Yükseltgenme Basamakları: Kimyasal Bileşiklerin Açıklanmasında Yararlı Bir Kavram—Bir atomun **yükseltgenme basamağı**, o atomun başka bir atomla bağ yaptığında kullanılan elektron sayısı ile ilişkilidir. Yükseltgenme basamakları bir dizi kurala (Çizelge 3.2) bağlı olarak verilen sayılardır. Kimyasal bileşiklerin adlandırılması ve kimyasal formüllerin yazılmasında yükseltgenme basamağı kavramından yararlanılır.

3-5 Bileşiklerin Adlandırılması: Organik ve İnorganik Bileşikler—Kimyasal bileşiklerin formüllerine bir **isim vermek**, yani **adlandırma**, kimyada önemlidir. Bu konuya bu bölümde girilmiş olup iki genel sınıfa uygulanmıştır: (1) **organik bileşikler**, bunlar karbon ve hidrojen elementlerinden oluşan çoğu zaman da oksijen, azot gibi başka elementler de içeren bileşiklerdir; ve (2) **inorganik bileşikler**, organik bileşiklerin dışında tüm diğer bileşikleri kapsayan genel bir sınıftır. Adlandırma konusu kitaptaki diğer bölümlerde de ele alınmıştır.

3-6 İnorganik Bileşiklerin Adları ve Formülleri—Bu bölümde önce iki element içeren, **ikili bileşiklerin** adları ve formülleri incelenmiştir. Bazı basit iyonların adları ve formülleri (Çizelge 3.3) ve bazı molekül yapısındaki ikili bileşiklerin (Çizelge 3.4) listesi verilmiştir. Ayrıca yaygın olan ve iki veya daha çok atomdan oluşan **çok atomlu iyonlar** ve bunları içeren iyonik bileşikler gösterilmiştir (Çizelge 3.5). İkili asitlerin adlandırılması, bunlara karşılık gelen ikili hidrojen bileşiklerinin adları ile ilişkilidir. Ancak, asitlerin çoğu, hidrojen ve iki tane de ametal olmak üzere üç element içerir ve **üçlü bileşiklerdir**. Genel olarak üçlü asitlerde, elementlerden bir tanesi oksijendir ve bu nedenle bunlar **oksiasit** adını alırlar. Oksiasitlerden kaynaklanan çok atomlu anyonlar ise **oksianyonlardır**. Oksianyonların adları ile formüllerini ilişkilendiren şema, ifade (3.3) de verilmiş, oksiasit ve tuzlarının adlandırılması da Çizelge 3.6 da özetlenmiştir. Bu kesimde ayrıca, formül birimlerinde belli sayıda su molekülleri bulunan ve **hidrat** adı verilen iyonik bileşikler de incelenmiştir.

3-7 Organik Bileşiklerin Adları ve Formülleri—Organik bileşikler karbon elementi bileşikleridir. **Hidrokarbonlar** sadece karbon ve hidrojen içerirler (Şekil 3-9). **Alkan** adı verilen hidrokarbonlar sadece tekli bağlar içerirler, **alkenler** ise en az bir tane ikili bağ içerir. Organik bileşiklerde yaygın olarak izomeri olgusuna rastlanır. **İzomeri**, molekül formülü aynı ancak yapı formülü farklı olan ve **izomer** adı verilen bileşiklerin varlığıdır. Karbon zincirlerinde ya da halkalarında H atomlarının yerine geçen **işlevsel gruplar** organik moleküllere farklı özellikler kazandırırlar. Hidroksil grubu —OH **alkollerde** (Şekil 3-10), karboksil grubu —COOH ise **karboksilli asitlerde** (Şekil 3-11) bulunur.

Pekiştirici Örnek

Bir dikarboksilli asidin *iki* karboksil grubu —COOH vardır. 2,250 g lık bir dikarboksilli asit aşırı oksijen ortamında yakılıyor, 4,548 g CO_2 ve 1,629 g H_2O oluşuyor. Ayrı bir deneyde, asidin molekül kütlesi 174 akb bulunuyor. Bu verilerden, bu asidin yapı formülünü bulabilir miyiz?

Analiz

Yaklaşımımız aşağıda göstereceğimiz basamakları içerecektir: (1) Bileşiğin yüzde bileşimini bulmak için (Örnek 3-6 ya benzer şekilde) yakma verilerini kullanınız. (2) Yüzde bileşimden kaba formülü bulunuz (Örnek 3-5 ya benzer şekilde). (3) Kaba formül ve molekül kütlesinden molekül formülünü bulunuz. (4) Molekül formülünde C, H ve O atomlarının bir dikarboksilli asidi verecek şekilde nasıl bir araya geldiklerini gösteriniz. Mol kütlelerini, ölçülen kütlelerden (en az) bir fazla anlamlı sayı ile kullanınız; hesap makinanızda ara sonuçları yuvarlamadan tutunuz.

Çözüm

1. *Yüzde bileşimi tayin ediniz. 1,629 g H_2O daki H nin kütlesini hesaplayınız.*

$$?\,g\,H = 1{,}629\,g\,H_2O \times \frac{1\,mol\,H_2O}{18{,}015\,g\,H_2O} \times \frac{2\,mol\,H}{1\,mol\,H_2O} \times \frac{1{,}0079\,g\,H}{1\,mol\,H} = 0{,}1823\,g\,H$$

Daha sonra 2,250 g dikorboksilli asit numunesindeki H nin kütlece yüzdesini bulunuz.

$$\%\,H = \frac{0{,}1823\,g\,H}{2{,}250\,g\,compd.} \times \%100 = \%8{,}102\,H$$

4,548 g CO_2 deki C nun kütlesini de hesaplayınız,

$$?\,g\,C = 4{,}548\,g\,CO_2 \times \frac{1\,mol\,CO_2}{44{,}010\,g\,CO_2} \times \frac{1\,mol\,C}{1\,mol\,CO_2} \times \frac{12{,}011\,g\,C}{1\,mol\,C} = 1{,}241\,g\,C$$

2,250 g dikarboksilli asit numunesindeki C nun kütlece yüzdesini bulunuz.

$$\% \text{ C} = \frac{1{,}241 \text{ g C}}{2{,}250 \text{ g bileşik}} \times \%100 = \%55{,}16 \text{ C}$$

Bileşikteki % O ni farktan hesaplayınız.

$$\% \text{ O} = \%100{,}00 - \%55{,}16 \text{ C} - \%8{,}102 \text{ H} = \%36{,}74 \text{ O}$$

2. *Yüzde bileşimden kaba formülü bulunuz.* 100,0 g bileşikteki elementlerin kütlesi şöyledir.

55,16 g C 8,102 g H 36,74 g O

100,0 g bileşikteki C, H ve O nin mol sayıları ise,

$$55{,}16 \text{ g C} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12{,}011 \text{ g C}} = 4{,}592 \text{ mol C}$$

$$8{,}102 \text{ g H} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1{,}0079 \text{ g H}} = 8{,}038 \text{ mol H}$$

$$36{,}74 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{15{,}999 \text{ g O}} = 2{,}296 \text{ mol O}$$

Bu mol sayılarına dayalı olarak geçici kaba formül $C_{4,592}H_{8,038}O_{2,296}$

Bütün indisler, 2,296 ile bölünür ve şu sonuç elde edilir. $C_2H_{3,50}O$

Bütün indisleri 2 ile çarparsanız, sonuç kaba formülü verir: $C_4H_7O_2$

Daha sonra kaba formül kütlesi hesaplanır $(4 \times 12{,}0107 \text{ akb}) + (7 \times 1{,}00794 \text{ akb}) + (2 \times 15{,}9994 \text{ akb}) = 87{,}0972 \text{ akb}$

3. *Molekül formülünü bulunuz.* Deneysel olarak bulunan molekül kütlesi 174 akb dir, bu değer kaba formül kütlesinin iki katıdır. Molekül formülü: $C_8H_{14}O_4$ dür.

4. *$C_8H_{14}O_4$ deki atomları uygun yapı formül halinde gösteriniz.* Yapıda iki tane —COOH grubu bulunmalıdır. Bu ise dört O atomu, iki C atomu ve iki H atomu demektir. Geriye C_6H_{12} kalır. Altı $—CH_2$ biriminin altı karbonlu bir zincir oluşturması en basit olasılıktır. Bu zincirin iki ucuna —COOH gruplarını yerleştiriniz. Yapı yandaki gibi yazılabilir.

$$HOOC—CH_2(CH_2)_4CH_2—COOH$$

Ancak, dallanmış daha kısa zincir yazma olasılığı da vardır. Örneğin;

$$HOOC—CH_2—\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}—CH_2—CH_2—COOH$$

Değerlendirme

Uygun bir yapı formülü bulduk, ancak başka olasılıklar da bulunmaktadır. Örneğin, aşağıdaki üç izomer yedi karbonlu bir zincir ve bir metil grubu içerir.

$HOOCCHCH_3(CH_2)_4COOH$ $HOOCCH_2CHCH_3(CH_2)_3COOH$ $HOOC(CH_2)_2CHCH_3(CH_2)_2COOH$

Sonuç olarak eldeki verilerden hangi izomer olduğunu bulamayız.

ALIŞTIRMA A: Formülü bilinmeyen katı bir hidratın 2,4917 g lık örneği ısıtılıp hidrasyon suyu uzaklaştırılıyor. Kalan 1,8558 g katı madde analiz edildiğinde kütlece % 27,74 Mg, % 23,57 P ve % 48,68 O içerdiği bulunuyor. Bu hidratın formülü ve adını bulunuz.

ALIŞTIRMA B: Bilinmeyen katı bir hidrat kütlece % 17,15 Cu, % 19,14 Cl ve % 60,45 O içermekte ve bileşiminin geri kalanı hidrojenden oluşmaktadır. Bu bileşikteki bakır ve klorun yükseltgenme basamakları nedir? Bileşiğin adı nedir?

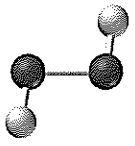
MasteringCHEMISTRY

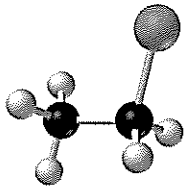
www.masteringchemistry.com adresinden, çalışma alanındaki ilave çalışma sorularına bu bağlantı ile ulaşabilirsiniz

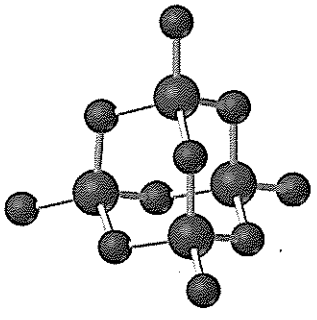
Alıştırmalar

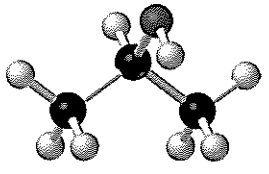
Moleküllerin Gösterilişi

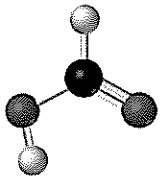
1. Şekil 3-3 deki renk şemasına bakarak, aşağıda top-çubuk modelleri ile verilen moleküllerin molekül formüllerini yazınız.

(a) 

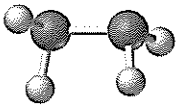
(b) 

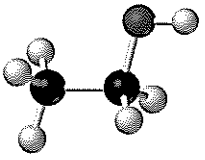
(c) 

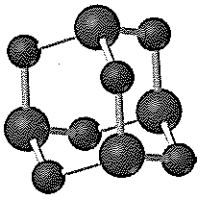
(d) 

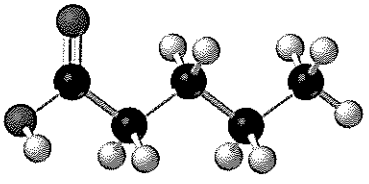
(e) 

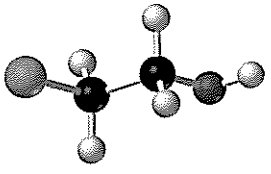
2. Top-çubuk modelleri aşağıda verilen moleküllerin molekül formüllerini yazınız. Şekil 3-3 deki renk şemasına bakınız.

(a) 

(b) 

(c) 

(d) 

(e) 

3. Alıştırma 1 (b), (d) ve (e) de gösterilen moleküllerin yapı formüllerini yazınız.
4. Alıştırma 2 (b) (d) ve (e) de gösterilen moleküllerin yapı formüllerini yazınız.

Avogadro Sayısı ve Mol

5. (a) Bir molekül trinitrotoluen de (TNT), $CH_3C_6H_2(NO_2)_3$, kaç tane atom vardır?
(b) 0,00102 mol $CH_3(CH_2)_4CH_2OH$ da kaç tane atom vardır?
(c) 12,15 mol $C_2HBrClF_3$ de kaç tane F atomu vardır?

6. Aşağıdakilerin *kütlesini* gram cinsinden hesaplayınız.
(a) 7,34 mol N_2O_4;
(b) $3,16 \times 10^{24}$ tane O_2 molekülü;
(c) 18,6 mol $CuSO_4 \cdot 5\,H_2O$;
(d) $4,18 \times 10^{24}$ tane $C_2H_4(OH)_2$ molekülü.
7. İnsan beslenmesinde gerekli bir amino asit olan metioninin molekül formülü $C_5H_{11}NO_2S$ dir. Bu

amino asidin (a) molekül kütlesini bulunuz; (b) 1 molündeki H atomlarının mol sayısını bulunuz; (c) bir molünde kaç gram C bulunduğunu hesaplayınız; (d) 9,07 molünde kaç tane C atomu olduğunu bulunuz.

8. Aşağıdaki brom örneklerinde kaç mol Br_2 bulunduğunu hesaplayınız. (a) $8,08 \times 10^{22}$ tane Br_2 molekülü; (b) $2,17 \times 10^{24}$ tane Br atomu; (c) 11,3 kg brom; (d) 2,65 L sıvı brom (d= 3,10 g/mL).
9. *Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın,* aşağıdakilerden hangisinde azot atomun en fazla olduğunu bulunuz: (a) 50,0 g N_2O; (b) 17,0 g NH_3.; (c) 150 mL sıvı piridin, C_5H_5N (d = 0,983 g/mL); (d) 1,0 mol N_2.
10. *Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın,* aşağıdakilerden hangisinde S atom sayısının en fazla olduğunu bulunuz: (a) 0,12 mol katı kükürt S_8; (b) 0,50 mol S_2O gazı; (c) 65 g SO_2 gazı; (d) 75 mL sıvı tiyofen C_4H_4S (d = 1,064 g/mL).
11. (a) 115 g numunede kaç *mol* N_2O_4 vardır?
(b) 43,5 g $Mg(NO_3)_2$ da N atomlarının mol sayısı nedir?
(c) 12,4 g $C_6H_{12}O_6$ daki O atomları ile aynı sayıda N atomu içeren $C_7H_5(NO_2)_3$ örneğindeki N atomlarının mol sayısı nedir?
12. (a) $6,25 \times 10^{-2}$ mol P_4 ün
(b) $4,03 \times 10^{24}$ molekül stearik asidin, $C_{18}H_{36}O_2$,
(c) 3,03 mol N atomu içeren lisin in, $C_6H_{14}N_2O_2$, miktarını *gram* cinsinden hesaplayınız.
13. Kanın hemaglobin miktarı yaklaşık olarak 15,5 g/100 mL kandır. Hemoglobinin mol kütlesi yaklaşık 64500 g/mol dür ve bir hemoglobin molekülünde dört demir (Fe) atomu vardır. Normal bir yetişkindeki 6 L kanda yaklaşık kaç tane Fe atomu vardır?
14. Beyaz fosforda P atomları P_4 molekülleri biçiminde bulunur (Şekil 3-5). Beyaz fosfor yaygın olarak tebeşir gibi, silindir biçiminde satılır ve yoğunluğu 1,823 g/cm^3 tür. Çapı 1,22 cm ve uzunluğu 6,5 cm olan bir beyaz fosfor silindirinde bulunan (a) P_4 mol sayısı; (b) toplam P atomları sayısı nedir?

Kimyasal Formüller

15. Glukoz (kan şekeri), $C_6H_{12}O_6$, ile ilgili, aşağıdaki ifadelerden hangisi ya da hangilerinin doğru olduğunu belirtiniz:
(a) C ve O in kütlece yüzdeleri CO daki ile aynıdır.
(b) C/H/O oranları dihidroksiasetondaki, $(CH_2OH)_2CO$, ile aynıdır.
(c) C ve O in kütlece oranları eşittir.
(d) H in kütlece yüzdesi en büyüktür.
16. Mayalanma ve küflenmeyi önleyici olan sorbik asit,$C_6H_8O_2$, için aşağıdaki cümle ya da cümlelerin hangisi ya da hangilerinin doğru olduğunu açıklayınız.
(a) Sorbik asidin C : H : O kütle oranı 3 : 4: 1 dir.
(b) Suda bitkileri öldüren akrolein, C_3H_4O, ile aynı yüzde kütle bileşimindedir.
(c) Kaba formülü parazit solucanları öldürmede kullanılan aspidinolün, $C_{12}H_{16}O_4$, kaba formülü ile aynıdır.
(d) O atomlarının 4 katı sayıda H atomu, fakat kütlece H nin 4 katı O içerir.
17. Torbernit minerali, $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8\ H_2O$ için aşağıdakileri bulunuz
(a) bir formül birimindeki toplam atom sayısı,
(b) H atom sayısının O atom sayısına oranı,
(c) kütle olarak Cu/P oranı,
(d) kütle yüzdesi en yüksek olan elementi,
(e) 1,00 g P içeren bileşik kütlesini ;
18. $Ge[S(CH_2)_4CH_3]_4$ bileşiği için:
(a) bir formül birimindeki toplam atom sayısını;
(b) sayıca C/H değerini
(c) kütlece Ge/S değerini
(d) 1 mol bileşikteki S ün gram cinsinden miktarını
(e) 33,10 g bileşikteki C atomu sayısını hesaplayınız.

Bileşiklerin Yüzde Bileşimleri

19. Bir hidrokarbon olan dekandaki, $C_{10}H_{22}$, H nin kütlece yüzdesini hesaplayınız.
20. Malahit, $Cu_2(OH)_2CO_3$, mineralindeki O nin kütlece yüzdesini hesaplayınız.
21. Bir hidrokarbon olan izooktandaki, $C(CH_3)_3CH_2CH(CH_3)_2$, H nin kütlece yüzdesini hesaplayınız.
22. $Cr(NO_3)_3 \cdot 9\ H_2O$ hidratında H_2O nun kütlece yüzdesini hesaplayınız.
23. Sıtma ilacı kinindeki, $C_{20}H_{24}N_2O_2$, her bir elementin kütlece yüzdelerini hesaplayınız.
24. Bir fungisit olan bakır (II) oleattaki, $Cu(C_{18}H_{33}O_2)_2$, her bir elementin kütlece yüzdelerini hesaplayınız.
25. Aşağıdaki bileşiklerde belirtilen elementlerin kütlece yüzdelerini hesaplayınız. (a) Bir zamanlar motorda vuruntuyu önlemek için benzine katılan tetraetil kurşundaki, $Pb(C_2H_5)_4$, Pb.
(b) Matbaa mürekkebinde ve boyacılıkta kullanılan Prusya mavisindeki, $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$, Fe.
(c) Bitki hücrelerindeki yeşil pigmentteki, $C_{35}H_{72}MgN_4O_5$, Mg.
26. Aşağıdaki mineraller değerli veya yarı değerli taşlardır. Belirtilen elementlerin kütlece yüzdelerini hesaplayınız. (a) Zirkondaki, ($ZrSiO_4$), Zr; (b) berildeki (zümrüt) $Be_3Al_2Si_6O_{18}$, Be; (c) almandindeki, (laltaşı) $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$, Fe; (d) Lazuritteki, (parlatıcı taş) $Na_4SSi_3Al_3O_{12}$, S.
27. *Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın,* aşağıdaki bileşikleri kütlece % Cr artışına göre sıralayınız. Nedenini açıklayınız: CrO, Cr_2O_3, CrO_2, CrO_3.
28. *Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın,* aşağıdaki bileşiklerden hangisinin kütlece en fazla %S içerdiğini belirleyiniz: SO_2, S_2Cl_2, Na_2S, $Na_2S_2O_3$, CH_3CH_2SH.

Yüzde Bileşiminden Kimyasal Formüllerin Yazılması

29. İki farklı kükürt oksidin molekül kütleleri hemen hemen aynıdır. Bunlardan bir tanesi % 40,05 S içermektedir. Bu oksitler için mümkün olan en basit formülleri yazınız.
30. Krom kaplamada kullanılan bir krom oksidin formül kütlesi 100,0 akb olup, formül biriminde dört atom bulunmaktadır. Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın bu bileşiğin formülünü yazınız.
31. Uçaklarda buzlanmayı önlemek için kullanılan dietilen glikol, karbon-hidrojen ve oksijenden oluşur ve kütlece % 45,27 C ve % 9,50 H içerir. Bu bileşiğin kaba formülü nedir?
32. Gıdalarda lezzet verici olarak kullanılan monosodyum glutamatın (MSG) kütlece yüzde bileşimi % 13,6 Na, % 35,5 C, % 4,8 H, % 8,3 N ve % 37,8 O dur. MSG nin kaba formülü nedir?
33. Aşağıdaki bileşiklerin kaba formüllerini bulunuz: **(a)** Fare zehiri Warfarin kütlece %74,01 C, %5,23 H ve %20,76 O içerir. **(b)** Antibakteriyel bir bileşik olan sülfametizol kütlece % 39,98 C, % 3,73 H, % 20,73 N, % 11,84 O, ve % 23,72 S içerir.
34. **(a)** Sigara dumanında bulunan ve kansere neden olduğundan şüphe edilen benzo-[*a*] piren, kütlece %95,21 C ve %4,79 H içerir. Kaba formülü nedir? **(b)** Antiseptik sabunlarda kullanılan heksaklorofen kütlece %38,37 C, %1,49 H, %52,28 Cl ve %7,86 O içerir. Kaba formülü nedir?
35. Karbon ve hidrojenden oluşan bir bileşik kütlece % 94,34 C ve % 5,66 H içermektedir ve molekül kütlesi 178 akb dir. Bileşiğin molekül formülü nedir?
36. Fotoelektrik pillerin ve güneş enerjisi araçlarının yapımında kullanılan selen elementi iki oksit oluşturur. Biri kütlece % 28,8 O, diğeri % 37,8 O içerir. Bu oksitlerin formüllerini ve uygun adlarını yazınız.
37. Kot pantolonların boyası olan indigo kütlece % 73,27 C, % 3,84 H, % 10,68 N ve oksijen içerir. Molekül kütlesi 262,3 akb dir. İndigonun molekül formülü nedir?
38. Nükleik asitlerin bir bileşeni olan adenin kütlece % 44,45 C, % 3,73 H, % 51,82 N içerir ve molekül kütlesi 135,14 akb dir. Adeninin molekül formülü nedir?
39. X elementinin oluşturduğu klorür, XCl_4, kütlece %75,0 Cl içerir. X elementi nedir?
40. X elementi % 59,6 Cl içeren $XOCl_2$ bileşiğini oluşturur. X elementi nedir?
41. Klorofil kütlece %2,72 Mg içerir. Bir klorofil molekülünde bir Mg atomunun bulunduğunu varsayarak, klorofilin molekül kütlesini hesaplayınız.
42. Cl ve X in iki bileşiğinin molekül kütleleri ve kütlece % bileşimleri aşağıdaki gibidir: 137 akb, %77,5 Cl; 208 akb %85,1 Cl. X elementi nedir? Bileşiklerin formüllerini yazınız.

Yakma Analizi

43. 0,1888 g lık bir hidrokarbon örneği yanma sonunda 0,6260 g CO_2 ve 0,1602 g H_2O oluşturmuştur. Molekül kütlesi 106 akb dir. Bu hidrokarbonun, **(a)** kütlece yüzde bileşimini, **(b)** kaba formülünü, **(c)** molekül formülünü bulunuz.
44. *para*-Kresol (*p*-kresol) böcek öldürücü ve dezenfekte edici olarak kullanılır. Bu karbon-hidrojen-oksijen bileşiğinin 0,4039 g lık örneğinin yakma analizi sonunda 1,1518 g CO_2, ve 0,2694 g H_2O elde edilmiştir. Bileşiğin molekül kütlesi 108,1 akb dir. *p*-Kresolün **(a)** kütlece yüzde bileşimini **(b)** kaba formülünü **(c)** molekül kütlesini hesaplayınız.
45. Roket yakıtında kullanılan dimetilhidrazin bir karbon-hidrojen-azot bileşiğidir. 0,312 g dimetilhidrazin örneği tamamen yandığında 0,458 g CO_2 ve 0,374 g H_2O veriyor. 0,486 g lık başka bir örnekteki azot 0,226 g N_2 ye dönüştürülüyor. Dimetilhidrazinin kaba formülü nedir?
46. Organik çözücü tiyofen bir karbon-hidrojen-kükürt bileşiğidir ve tam yanma sonunda CO_2, H_2O ve SO_2 oluşturur. 1,3020 g tiyofen örneği tamamen yandığında 2,7224 g CO_2, 0,5575 g H_2O ve 0,9915 g SO_2 oluşuyor. Tiyofenin kaba formülü nedir?
47. *Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın* aşağıdaki bileşiklerden hangisinin 1 molünün tamamen yanmasıyla kütlece *en fazla* CO_2 i oluşturduğunu belirtiniz. CH_4, C_2H_5OH, $C_{10}H_8$, C_6H_5OH.
48. *Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın* aşağıdaki bileşiklerden hangisinin 1,0 g ı tamamen yandığında kütlece en fazla H_2O oluşturduğunu belirtin: CH_4, C_2H_5OH, $C_{10}H_8$, C_6H_5OH.
49. 1,562 g alkol, $CH_3CHOHCH_2CH_3$, örneği aşırı oksijende yakılıyor. Oluşan CO_2 ve H_2O nun kütlesi nedir?
50. Sıvı etil merkaptanın , C_2H_6S, yoğunluğu 0,84 g/mL dir. Bu bileşiğin, tamamen yandığında CO_2, H_2O ve SO_2 oluşturduğunu varsayınız. 3,15 mL etil merkaptanın tamamen yanmasıyla oluşan bu üç bileşiğin kütleleri ne olur?

Yükseltgenme Basamakları

51. Aşağıda altı çizili elementlerin yükseltgenme basamaklarını belirtiniz. **(a)** $\underline{C}H_4$; **(b)** $\underline{S}F_4$; **(c)** $Na_2\underline{O}_2$; **(d)** $\underline{C}_2H_3O_2^-$; **(e)** $\underline{Fe}O_4^{2-}$.
52. Aşağıdaki anyonlarda, S atomlarının yükseltgenme basamaklarını belirleyiniz: **(a)** SO_3^{2-}; **(b)** $S_2O_3^{2-}$; **(c)** $S_2O_8^{2-}$; **(d)** HSO_4^-; **(e)** $S_4O_6^{2-}$.
53. Kromun üç oksidi vardır. Bu bileşiklerde Cr un yükseltgenme basamağı sırasıyla +3, +4 ve +6 dır. Bu Cr oksitleri için uygun formüller yazınız.
54. Azot ile oksijen beş farklı bileşik verir. N un yükseltgenme basamaklarının +1, +2, +3, +4 ve +5, olduğu bu bileşikler için uygun formüller yazınız.

55. Bileşiklerinin çoğunda oksijenin yükseltgenme basamağı –2 dir, ancak bazı istisnalar da vardır. Aşağıdaki bileşiklerde oksijenin yükseltgenme basamağı nedir? (a) OF_2; (b) O_2F_2; (c) CsO_2; (d) BaO_2.

56. Bileşiklerinin çoğunda hidrojen ve oksijenin yükseltgenme basamakları sırasıyla +1 ve −2 dir. Aşağıdaki bileşikler istisna oluşturmaktadır, bu bileşiklerdeki atomların yükseltgenme sayıları nedir? (a) MgH_2; (b) CsO_3; (c) HOF; (d) $NaAlH_4$

Adlandırma

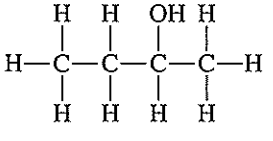
57. Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız: (a) SrO; (b) ZnS; (c) K_2CrO; (d) Cs_2SO_4; (e) Cr_2O_3; (f) $Fe_2(SO_4)_3$; (g) $Mg(HCO_3)_2$; (h) $(NH_4)_2HPO_4$; (i) $Ca(HSO_3)_2$; (j) $Cu(OH)_2$; (k) HNO_3; (l) $KClO_4$; (m) $HBrO_3$; (n) H_3PO_3.
58. Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız: (a) $Ba(NO_3)_2$; (b) HNO_2; (c) CrO_2; (d) KIO_3; (e) LiCN; (f) KIO; (g) $Fe(OH)_2$; (h) $Ca(H_2PO_4)_2$; (i) H_3PO_4; (j) $NaHSO_4$; (k) $Na_2Cr_2O_7$; (l) $NH_4C_2H_3O_2$; (m) MgC_2O_4; (n) $Na_2C_2O_4$.
59. Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız: (a) CS_2; (b) SiF_4; (c) ClF_5; (d) N_2O_5; (e) SF_6; (f) I_2Cl_6.
60. Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız: (a) ICl; (b) ClF_3; (c) SF_4; (d) BrF_5; (e) N_2O_4; (f) S_4N_4.
61. Aşağıdaki bileşiklerin formüllerini yazınız: (a) aluminyum sülfat; (b) amonyum dikromat; (c) silisyum tetraflorür; (d) demir (III) oksit; (e) trikarbon disülfür; (f) kobalt (II) nitrat; (g) stronsiyum nitrit, (h) hidrobromik asit, (i) iyodik asit; (j) fosfor diklorür triflorür.
62. Aşağıdaki bileşiklerin formüllerini yazınız: (a) magnezyum perklorat; (b) kurşun (II) asetat; (c) kalay (IV) oksit; (d) hidroiyodik asit; (e) kloröz asit; (f) sodyum hidrojen sülfit; (g) kalsiyum dihidrojen fosfat; (h) aluminyum fosfat; (i) diazot tetroksit; (j) disülfür diklorür.
63. (a) Ti un Y.B nın +4 olduğu bir titanyum klorür bileşiğinin; (b) demirin Y.B nın +3 olduğu bir demir sülfat bileşiğinin; (c) klorun Y.B nın +7 olduğu bir klor oksit bileşiğinin; (d) kükürtün Y.B nın +7 olduğu −2 yüklü oksianyonunun formülünü yazınız.
64. (a) N un Y.B nın +5 olduğu bir azot oksidinin; (b) N un Y.B nın +3 olduğu bir azot oksiasidinin; (c) C un Y.B nın 4/3 olduğu bir karbon oksidinin; (d) S ün Y.B nın +2,5 ve yükünün −2 olduğu kükürt içeren bir oksianyonun formülünü yazınız.
65. Aşağıdaki asitleri adlandırınız: (a) $HClO_2$; (b) H_2SO_3; (c) H_2Se; (d) HNO_2.
66. Aşağıdaki asitlerin formüllerini yazınız: (a) hidroiyodik asit; (b) nitrik asit; (c) fosforik asit; (d) sülfürik asit.
67. Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız ve hangilerinin iyonik olarak sınıflandırılmasının uygun olacağını belirtiniz. (a) OF_2; (b) XeF_2; (c) $CuSO_3$; (d) $(NH_4)_2HPO_4$.
68. Aşağıdaki bileşikleri adlandırınız ve hangilerinin iyonik olarak sınıflandırılmasının uygun olacağını belirtiniz. (a) KNO_2; (b) BrF_3; (c) S_2Cl_2; (d) $Mg(ClO)_2$; (e) Cl_2O.

Hidratlar

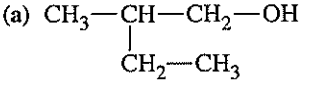
69. *Ayrıntılı hesaplamalar yapmaksızın,* aşağıdaki hidratlardan hangisinde kütlece % H_2O en fazladır bulunuz. $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $Cr(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $LiC_2H_3O_2 \cdot 2H_2O$.
70. *Ayrıntılı hesap yapmaksızın,* Na_2SO_3, in hidratı kütlece %50 H_2O içerdiğine göre hidratın formülünü yazınız.
71. Susuz $CuSO_4$, kendisinin çözünmediği sıvıların nemini almada (kurutmada) kullanılır. $CuSO_4$ nemli sıvı içinde $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ya dönüşür ve süzülerek ayrılır. Bir bidon benzin içinde çözünmüş olan 12,6 g H_2O yu almak için kütlece ne kadar $CuSO_4$ gerekir?
72. Susuz sodyum sülfat, Na_2SO_4, su buharını soğurarak *deka*hidrata, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, dönüşür. 24,05 g susuz Na_2SO_4 tamamen hidratlaşırsa kütlesi ne kadar artar?
73. Belirli bir hidratın kütlece % 20,3 Cu, % 8,95 Si, % 36,3 F ve % 34,5 H_2O içeriyor. Bu hidratın kaba formülü nedir?
74. 8,129 g $MgSO_4 \cdot xH_2O$ örneği ısıtılıyor ve bütün su uçuruluyor. Kalan susuz $MgSO_4$ 3,967 g olduğuna göre, hidratın formülü nasıldır?

Organik Bileşikler ve Adlandırma

75. Aşağıdaki yapıyı gösteren molekülün doğru adı hangisidir: (a) bütil alkol, (b) 2−bütanol, (c) 1−bütanol, (d) izopentil alkol?



76. Aşağıdaki adlardan hangisi $CH_3(CH_2)_2COOH$ molekülü için en uygundur. (a) dimetilen asetik asit; (b) propanoik asit; (c) bütanoik asit; (d) oksobutil alkol.
77. Aşağıdaki yapılardan hangileri izomerdir?



(b) $CH_3—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}—CH_2—CH_2—OH$

(c) $CH_3—CH_2—\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{CH}}—CH_2—OH$

(d) $CH_3—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}—CH_2—O—CH_3$

(e) $CH_3—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}—CH_2—\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}—CH_3$

78. Aşağıdaki yapılardan hangileri izomerdir?

(a) $CH_3—\underset{\displaystyle CH_2—CH_3}{\underset{|}{CH}}—CH_2—Cl$

(b) $CH_3—\underset{\displaystyle CH_2Cl}{\underset{|}{CH}}—CH_2—CH_3$

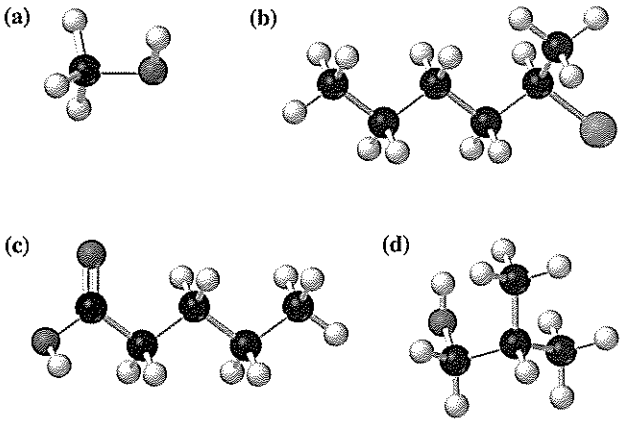
(c) $CH_3—CH—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CHClCH_3}}$

(d) $CH_3—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}—CH_2—\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}—CH_3$

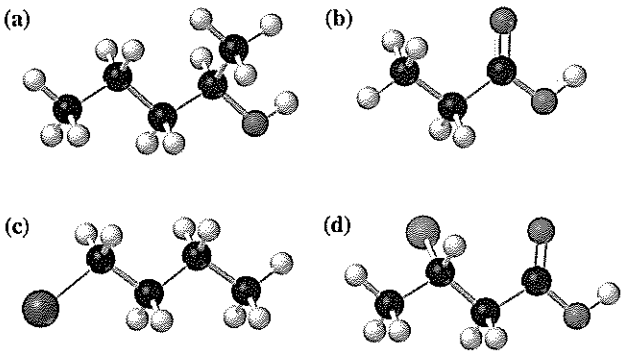
79. Aşağıdaki organik bileşiklerin yoğunlaşmış yapı formüllerini yazınız.
(a) heptan (b) propanoik asit
(c) 2-metil-1-pentanol (d) floretan

80. Aşağıdaki organik bileşiklerin yoğunlaşmış yapı formüllerini yazınız.
(a) oktan (b) heptanoik asit
(c) 3-heksanol (d) 2-klorbütan

81. Aşağıda top-çubuk modelleri verilen moleküllerin adını ve yoğunlaşmış yapı formülünü yazınız. Molekül kütlesini bulunuz. Şekil 3-3 deki renk şemasına başvurunuz.



82. Aşağıda top-çubuk modelleri verilen moleküllerin adını ve yoğunlaşmış yapı formülünü yazınız. Molekül kütlesini bulunuz. Şekil 3-3 deki renk şemasına başvurunuz.



Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

83. Spodumen mineralinin formülü $LiAlSi_2O_6$ dır. Doğal lityum içinde Li-6 atomunun yüzdesi % 7,40 dır. 518 g spodumen örneğinde kaç tane Li-6 atomu vardır?

84. Bir pirinç örneği Cu, Sn, Pb, ve Zn içermektedir. 1,1713 g örnek 0,245 g SnO_2, 0,115 g $PbSO_4$ ve 0,246 g $Zn_2P_2O_7$ ye dönüştürülüyor. Örnekteki element yüzdelerini bulunuz.

85. Bir salam kütlece % 0,10 sodyum benzoat, C_6H_5COONa, içermektedir. Bu salamdan 2,52 ons yiyen bir kişi kaç mg Na almış olur?

86. Bor bileşiklerinin önemli doğal kaynakları kernit, $Na_2B_4O_7 \cdot 4\ H_2O$ ve boraks, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ mineralleridir. Kernit yerine boraks kullanıldığında, bir kg bor elde etmek için *fazladan* kaç kg mineral işlenmelidir ?

87. Ag^+ iyonları içeren bir sulu çözeltiden 1 mol Ag elde etmek için 1 F elektrik miktarına gerek vardır. Her bir Ag^+ iyonunun bir Ag metaline dönüşmesi için bir elektron gerekir. Bu bilgiden ve kitaptaki verilerden yararlanarak, Avogadro sayısını (N_A) hesaplayınız.

88. Bir bileşiğin analizi sonucunda kütlece % 26,58 K, % 35,45 Cr içerdiği ve geri kalanının da oksijenden oluştuğu belirleniyor. Bu bileşikte kromun yükseltgenme basamağını bulunuz; bileşiğin adı nedir?

89. Ağırlığı $1{,}00 \times 10^{-23}$ g olan bir S_8 örneği olabilir mi? Bir S_8 örneğinin kütlesi en az ne olmalıdır? İkinci soruya cevabınızı SI birimleri kullanarak veriniz ki, sayısal değeri 1 den büyük olsun. (SI önekleri için Çizelge 1.2 ye bakınız).

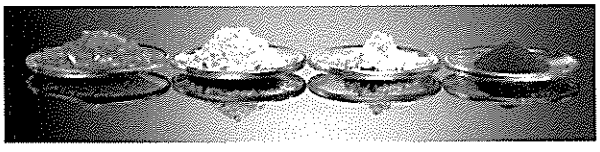
90. Sadece bir tane ikili bağ ve n sayıda karbon içeren hidrokarbonun molekül formülü nedir? Böyle bir hidrokarbon aşırı miktarda oksijen ile yakıldığında oluşan H_2O nun kütlesi, oluşan CO_2 kütlesinden fazla olabilir mi?
91. Kütlece %60,0 C_3H_8 ve %40,0 C_xH_y içeren bir hidrokarbon karışımının 10,0 g lık bir örneği yakıldığında 29,0 g CO_2 ve 18,8 g H_2O meydana geliyor. Bilinmeyen hidrokarbonun formülünü bulunuz.
92. 0,732 g metan, CH_4, ve etan, C_2H_6, karışımı yakıldığı zaman 2,064 g CO_2 oluşuyor. Bu karışımın **(a)** kütlece, **(b)** mol cinsinden yüzde bileşimini bulunuz.
93. Su ve H_2SO_4 den oluşan bir karışımın yoğunluğu 1,78 g/mL dir. Bu karışımın yüzde bileşimini saptamak için H_2SO_4 bileşiği $(NH_4)_2SO_4$ e dönüştürülmektedir. Bu karışımın 32,0 mL sinden 65,2 g $(NH_4)_2SO_4$ elde ediliyorsa, karışımın yüzde bileşimi nedir?
94. Saf olmayan gümüşün 26,39 g lık örneğinden 31,56 g gümüş klorür elde ediliyorsa, örnek kütlece yüzde kaç gümüş içerir?
95. 2000 yılında, etil merkaptan, C_2H_6S, *Guinnes Rekorlar Kitabı*na en keskin kokulu madde olarak geçmiştir. Normal bir insan bu maddenin havadaki varlığını 9×10^{-4} μmol / m^3 kadar düşük düzeylerde bile algılayabilmektedir. Etil merkaptanın algılanabilme sınırını milyarda bir (ppb) cinsinden ifade ediniz. (1 ppb C_2H_6S, 1 milyar g havada 1 g C_2H_6S vardır anlamına gelir.) Oda sıcaklığında havanın yoğunluğu 1,2 g/L dir.
96. Kuru hava başlıca aşağıdaki maddelerin bir karışımıdır: N_2, O_2, Ar, CO_2. Kuru havanın bileşimi, *mol yüzdesi* olarak: % 78,08 N_2, % 20,95 O_2, % 0,93 Ar, ve % 0,04 CO_2. (a) Tam 1 mol madde içeren bir hava örneğinin kütlesi nedir? (b) Kuru havada çok daha az miktarlarda başka maddeler de bulunur; örneğin, kuru havada kriptonun (Kr) mol yüzdesi yaklaşık olarak % $1,14 \times 10^{-4}$ tür. Oda sıcaklığında, kuru havanın yoğunluğu 1,2 g/L olduğuna göre, bir metre küp kuru havadan elde edilen kriptonun kütlesi nedir?
97. Bir şehir suyunda kütlece 1 ppb kloroform, $CHCl_3$, bulunmuştur. (a) Bu şehir suyundan alınan 225 mL lik bir bardak suda kaç tane $CHCl_3$ molekülü bulunur? (b) Bu bir bardak sudaki $CHCl_3$ ayrılıp tartılabilseydi, hassasiyeti ± 0,0001 g olan sıradan bir analitik terazi bu kütleyi algılayabilir miydi?
98. MSO_4 bileşiğinin 0,1131 g lık bir örneği baryum klorür ile tepkimeye giriyor ve 0,2193 g $BaSO_4$ elde ediliyor. M metalinin atom kütlesi kaç gram olmalıdır? [*İpucu*: MSO_4 deki bütün SO_4^{2-} iyonları $BaSO_4$ a geçmiştir.]
99. $M_2(SO_4)_3$ bileşiğinin 0,738 g lık bir örneği 1,511 g $BaSO_4$ veriyor. M nin atom kütlesi nedir? [*İpucu*: Alıştırma 97 ye bakınız.]
100. 0,622 g M_2O_3 örneği 0,685 g MS veriyor. M nin atom kütlesini bulunuz.
101. Yemek tuzu (NaCl) safsızlık olarak çoğu kez $MgCl_2$ içerir ve tuzun nemlenmesinin nedeni bu bileşiktir. 0,5200 g lık bir yemek tuzu örneğinin kütlece %61,10 Cl taşıdığı bulunmuştur. Bu örnekteki $MgCl_2$ yüzdesi nedir? Bu hesaplamanın duyarlığı neden bu denli düşüktür?
102. 2,750 g lık Pb_3O_4 örneği şiddetle ısıtıldığında 0,0640 g oksijen ve 2,686 g lık başka bir kurşun okside bozunur. Bu ikinci kurşun oksidin kaba formülünü bulunuz.
103. $ZnSO_4 \cdot xH_2O$ un, 1,013 g lık bir örneği suda çözülüyor ve sülfat iyonları $BaSO_4$ halinde çöktürülüyor. Elde edilen kuru ve saf $BaSO_4$ 0,8223 g geldiğine göre, çinko sülfat hidratın formülü nedir?
104. 1,552 g iyonik MI bileşiğindeki iyodür, çöktürme yöntemiyle ayrılıyor. Çökelek 1,186 g I içeriyor. M elementi nedir?
105. $H_xE_yO_z$ formülündeki bir oksiasitin formül kütlesi 178 akb olup formül biriminde 13 atom bulundurmaktadır. Bu asit kütlece %34,80 ve atom sayısı olarak %15,38 E elementi içermektedir. E elementi nedir ve oksiasidin formülü nedir?
106. Bir böcek öldürücü olan "dieldrin" karbon, hidrojen, oksijen ve klordan oluşmuştur. 1,510 g lık bir örneği yakıldığında 2,094 g CO_2 ve 0,286 g H_2O meydana gelir. Bileşiğin molekül kütlesi 381 akb ve klor atomu sayısı karbon atomu sayısının yarısı olduğuna göre, molekül formülü nasıldır?
107. Tamamen susuz 1,271 g Na_2SO_4 örneği açıkta bırakılıyor ve kütlesinin 0,387 g arttığı tesbit ediliyor. Susuz Na_2SO_4 ile dekahidratını içeren bu sonuç karışımındaki kütlece $\%Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ nedir?
108. Bi un atom kütlesi, $Bi(C_6H_5)_3$, bileşiğinin Bi_2O_3 bileşiğine dönüştürülmesiyle belirlenebilir. Eğer 5,610 g $Bi(C_6H_5)_3$ den 2,969 g Bi_2O_3 elde edilebiliyorsa, Bi un atom kütlesi kaçtır?
109. Boyutları 0,25 mm × 15 mm × 15 mm olan bir altın (Au) yaprağı flor gazı ile tepkimeye girdiğinde 1,400 g altın florür oluşuyor. Bu florürün formülü ve adı nedir? Altının yoğunluğu 19,3 g/cm^3 tür.
110. Bir deneyde 244 mL klor gazı (Cl_2, d= 2,898 g/L) iyotla tepkimeye girip 1,553 g lık bir ikili bileşik oluşturuyor. Ayrı bir deneyde bu bileşiğin mol kütlesi 467 g/mol olarak saptanıyor. Bu bileşiğin molekül formülü nedir?

Özellikli Sorular

111. Çok amaçlı gübreler, bitkiler için gerekli olan azot, fosfor ve potasyum elementlerini içerirler. Tipik bir gübre etiketinde "5-10-5" gibi rakamlar bulunur. Bu rakamlar, sıra ile % N, % P_2O_5 ve % K_2O i gösterir. Azot $(NH_4)_2SO_4$, NH_4NO_3 ya da $CO(NH_2)_2$ (üre) halinde, P genelde fosfat olarak ve K ise KCl halinde bulunur. "% P_2O_5" ve "% K_2O" kimyasal bileşiklerin tabiatının tam ola-

rak anlaşılmasından önce ondokuzuncu yüzyılda kullanılmıştır. Bizim % P_2O_5 den P ye, % K_2O dan K ya dönüşüm yapmamız için "2 mol P/mol P_2O_5 ve 2 mol K/mol K_2O" faktörlerini mol kütleleri ile birlikte kullanmamız gerekir.
(a) 5-10-5 gübresinin % N, % P ve % K bileşimi nedir? Üç anlamlı sayı kullanınız.
(b) İkisi de yaygın olarak kullanılan aşağıdaki gübrelerin % P_2O_5 değeri nedir? **(i)** $Ca(H_2PO_4)_2$; **(ii)** $(NH_4)_2HPO_4$?
(c) $(NH_4)_2HPO_4$ / KCl kütle oranı 5,00 : 1,00 olan bir gübreyi yukarıdaki "5-10-5" anlatımını kullanarak nasıl tanımlardınız? **(d)** Gübre bileşenlerinin sadece $(NH_4)_2HPO_4$ ve KCl olduğu bir gübre ile, gübre olmayan asal bileşenler kullanarak ya da kullanmaksızın, "5-10-5" tipinde bir gübre hazırlanabilir mi? Eğer hazırlanabilirse bu gübre karışımında bileşenlerin oranı ne olmalıdır? Bu "5-10-5" tipi gübre hazırlanamazsa nedenlerini belirtiniz?

112. Bir bakır (II) sülfat hidratı ısıtıldığı zaman aşağıdaki fotoğrafta görüldüğü gibi birbirini izleyen değişikliklere uğrar. Bu fotoğrafta **(a)** başlangıçtaki tamamen hidratize Cu (II) sülfat hidratı **(b)** başlangıç hidratının 140 °C ye ısıtılması ile oluşan ürünü, **(c)** (b) deki ürünün 400 °C ye kadar ısıtılması ile oluşan ürünü, **(d)** 1000 °C deki ürünü görülmektedir.



(a) (b) (c) (d)

2,574 g $CuSO_4 \cdot xH_2O$ 140 °C ye ısıtılıyor, soğutulup tartılıyor. Elde edilen katı tekrar 400 °C ye kadar ısıtılıyor, soğutulup tartılıyor. Aynı katı son olarak da 1000 °C de ısıtılıyor, soğutulup tartılıyor.

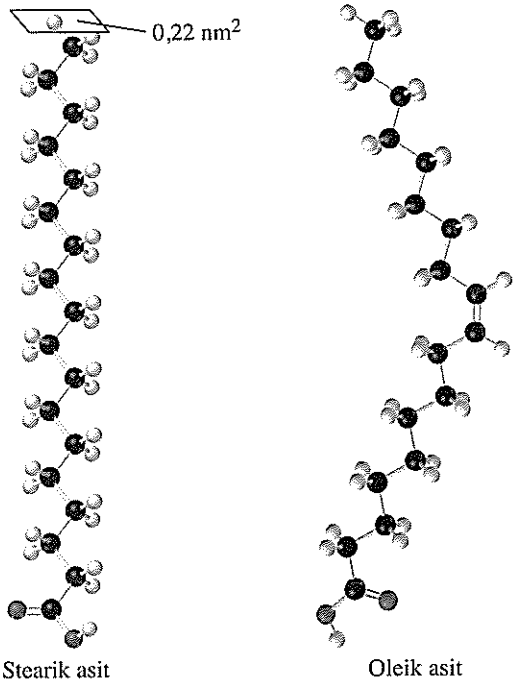
Başlangıç örnek:	2,574 g
140 °C ye ısıtıldıktan sonra	1,833 g
400 °C ye tekrar ısıtıldıktan sonra	1,647 g
1000 °C ye tekrar ısıtıldıktan sonra	0,812 g

(a) Suyun tamamının 400 °C de çıktığını varsayarsak, başlangıç hidratının formülü nedir?
(b) Başlangıç hidratı sadece 140 °C ye ısıtıldığında elde edilen hidratın formülü nedir?
(c) 1000 °C de elde edilen siyah katı bakır oksittir. Yüzde bileşimi ve kaba formülü nedir?

113. Suda çok az çözünen bazı bileşikler sadece bir molekül kalınlığında olan *tek tabakalı* bir film oluşturmak üzere suyun yüzeyine çıkarlar. Bu olayın pratik kullanımı, suyun buharlaşarak kaybını azaltmaktır. Stearik asit su üzerinde tek tabaka oluşturur. Molekülleri birbirine temas halinde, tıpkı bir kalemliğe konmuş kurşun kalem demeti gibi, yukarıya doğru dik olarak düzenlenirler. Aşağıdaki model bir tek tabakada bir stearik asit molekülünü göstermektedir.
(a) 10,0 g stearik asit kaç m^2 su yüzeyini kaplar? [*İpucu*: stearik asidin formülü nedir?]
(b) Stearik asidin yoğunluğu 0,85 g/cm^3 ise stearik asit molekülünün uzunluğu (nanometre cinsinden) nedir? [*İpucu*: (a) da açıklanan tekli tabakanın kalınlığı nedir?]
(c) Sıvı pentanda çok seyreltik bir oleik asit çözeltisi aşağıdaki gibi hazırlanıyor.

1,00 mL oleik asit + 9,00 mL pentan ⟶ çözelti (1);
1,00 mL çözelti (1) + 9,00 mL pentan ⟶ çözelti (2);
1,00 mL çözelti (2) + 9,00 mL pentan ⟶ çözelti (3);
1,00 mL çözelti (3) + 9,00 mL pentan ⟶ çözelti (4).

0,10 mL çözelti (4) suda tekli tabaka oluşturuyor. Tekli tabakanın yayıldığı alan 85 cm^2 dir. Oleik asit moleküllerinin stearik asitte açıklananla aynı şekilde düzenlendiğini varsayın ve molekülün kesit alanının $4,6 \times 10^{-15}$ cm^2 olduğunu düşünün. Oleik asitin yoğunluğu 0,895 g/mL dir. Bu verileri kullanarak Avogadro sayısını yaklaşık olarak bulunuz.



Stearik asit Oleik asit

Kendi Kendini Deneme Soruları

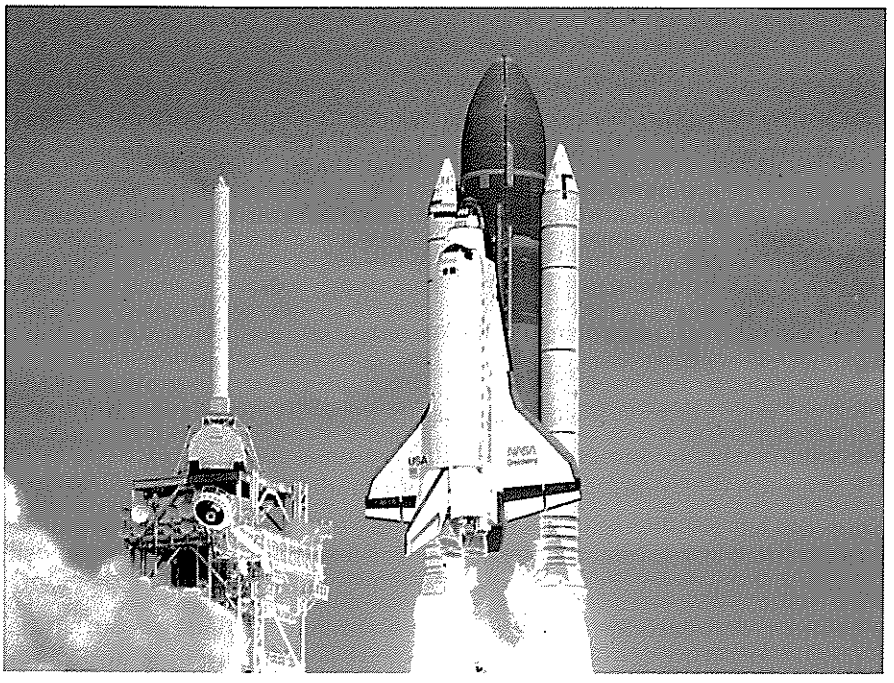
114. Aşağıdaki terim ve simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız ya da açıklayınız; **(a)** formül birimi; **(b)** P_4; **(c)** molekül bileşik; **(d)** oksiasit; **(e)** hidrat.
115. Aşağıdaki kavram ve yöntemleri kısaca açıklayınız: **(a)** bir bileşiğin molü; **(b)** yapı formülü; **(c)** yükseltgenme basamağı; **(d)** yakma analiziyle karbon, hidrojen ve oksijen tayini.
116. Aşağıdaki terimler arasındaki önemli farkları belirtiniz: **(a)** molekül kütlesi ve mol kütlesi; **(b)** kaba formül ve molekül formülü; **(c)** sistematik ve yaygın ad; **(d)** hidroksil ve karboksil grubu.
117. Aşağıdaki terimleri azot elementi üzerinde açıklayınız: **(a)** atom kütlesi; **(b)** molekül kütlesi; **(c)** mol kültesi.
118. Bir mol sıvı brom için aşağıdakilerden hangisi doğrudur? (a) kütlesi 79,9 g dır; (b) 6×10^{23} tane Br atomu içerir; (c) 12,01 g H_2O daki kadar atom içerir; (d) kütlesi 0,500 mol Cl_2 nin kütlesinin iki katıdır.
119. Aşağıdaki formüllerden üç tanesi kaba ya da molekül formülü olabilir. Molekül formülü olmak zorunda olan hangisidir? (a) N_2O; (b) N_2H_4; (c) NaCl; (d) NH_3.
120. $C_7H_7NO_2$ bileşiği, **(a)** bir molünde 17 atom içerir; **(b)** eşit kütle yüzdelerinde C ve H içerir; **(c)** N un iki katı O kütle yüzdesi içerir; **(d)** kütle yüzdesi olarak H nin iki katı N içerir.
121. Aşağıdakilerin hangisi en fazla azot atomu içerir? (a) 50,0 g N_2O; (b) 17,0 g NH_3; (c) 150 mL sıvı piridin, C_5H_5N (d = 0,983 g/mL) ; (d) 1,0 mol N_2.
122. XF_3 kütlece % 65 F içermektedir. Buna göre X in atom kütlesi nedir? (a) 8 akb; (b) 11 akb; (c) 31 akb; (d) 35 akb.
123. $H_4IO_6^-$ iyonunda I un yükseltgenme basamağı nedir? (a) −1; (b) +1; (c) +7; (d) +8.
124. Kalsyum kloritin formülü nedir? (a) $CaClO_2$; (b) $Ca(ClO_2)_2$; (c) $CaClO_3$; (d) $Ca(ClO_4)_2$.
125. $[Cu(NH_3)_4]SO_4$ bileşiğinin bir formül biriminde aşağıdakilerden hangileri yaklaşık olarak eşit kütlede bulunur? (a) S ve O; (b) N ve O; (c) H ve N; (d) Cu ve O.
126. $CH_3CH_2CHOHCH_3$ bileşiğinin izomeri hangisidir? (a) $C_4H_{10}O$; (b) $CH_3CHOHCH_2CH_3$; (c) $CH_3(CH_2)_2OH$; (d) $CH_3CH_2OCH_2CH_3$.
127. Na_2SO_3 ın bir hidratı kütlece hemen hemen tam olarak % 50 H_2O içermektedir. Bu hidratın formülü nedir?
128. Malahit, $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, bakır içeren yaygın bir mineraldir, (a) malahitte bakırın kütle yüzdesi nedir? (b) malahit güçlüce ısıtıldığında karbon dioksit ve su çıkar ve tek ürün olarak bakır(II) oksit oluşur. Bir kg malahitten oluşan bakır(II) oksidin kütlesi nedir?
129. Ağrı kesici ve ateş düşürücü olarak kullanılan asetaminofenin molekül kütlesi 151,2 akb olup, kütlece yüzde bileşimi şöyledir: % 63,56 C, % 6,00 H, % 9,27 N, ve % 21,17 O. Asetaminofenin molekül formülü nedir?
130. Ağrı kesici olarak kullanılan ibuprofen, karbon, hidrojen ve oksijen içeren bir bileşiktir. 2,174 g ibuprofen yakıldığında 6,029 g CO_2 ve 1,709 g H_2O oluşur. **(a)** Kütlece yüzde bileşimi nedir? **(b)** Kaba formülü nedir?
131. Ek E de kavram haritası olarak bilinen yararlı bir çalışma yöntemi anlatılmıştır. Ek E de verilen yöntemi kullanarak, Kesim 3-2 ve 3-3 deki kavramları gösteren bir kavram haritası oluşturunuz.

4

Kimyasal Tepkimeler

İÇİNDEKİLER

4-1 Kimyasal Tepkimeler ve Kimyasal Eşitlikler
4-2 Kimyasal Eşitlikler ve Stokiyometri
4-3 Çözeltide Kimyasal Tepkimeler
4-4 Sınırlayıcı Bileşenin Belirlenmesi
4-5 Tepkime Stokiyometrisinde Diğer Konular



Uzay mekiği *Discovery* STS-26 roketi ile havalanır. Roket motorlarındaki katı yakıtlı yanma tepkimeleri, mekiği fırlatma rampasından kaldırmak için bir itme kuvveti oluşturur. Bu bölümde, yanma tepkimelerini içeren çeşitli kimyasal tepkimelerin denkleştirilmiş kimyasal eşitliklerini yazmayı ve kullanmayı öğreneceğiz.

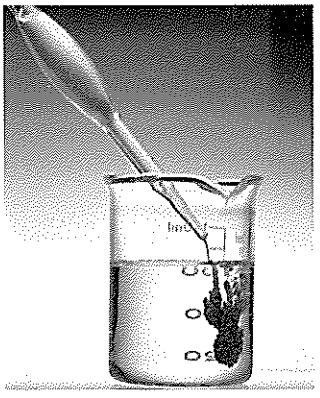
Hepimiz doğal gazın yanmasını ve uzun süre kullanılmayan demir aletlerin paslanmasını gözlemişizdir. Bunlar kimyasal tepkime örnekleridir. Kimyasal tepkimeler, yalnız bu bölümün değil tüm kimyanın başlıca ilgi alanıdır. Bu bölümde, bir tepkimede yer alan maddeler arasında kurulan kantitatif (sayısal) bağıntıya *tepkime stokiyometrisi* adı verilmektedir. Çoğu kimyasal tepkimeler çözeltide gerçekleştiği için *çözelti stokiyometrisini* de inceleyeceğiz. Daha sonra çözelti bileşimini açıklayabilme yöntemi olan *çözelti molaritesi*nide anlatacağız.

Kimyasal tepkimeleri tanımlarken çoğu kez mikroskopik olarak bakarız ve maddeyi oluşturan atom, iyon ya da moleküller üzerinde odaklanırız. Fakat kimyanın uygulamalarında daha çok makroskopik düzeydeki tepkimeleri düşünürüz. Çünkü laboratuvar çalışmalarında, kolayca ölçülebilen gram ya da litre gibi madde miktarlarını kullanırız. Tepkime stokiyometrisi büyük oranda kimyasal tepkimelerin mikroskopik görünüşü ile maddelerin makroskopik miktarları arasındaki bağıntıyı sağlar.

Stokiyometri kütlenin korunumu yasasından daha fazla heyecan verici değildir, fakat önemlidir. Kimyacılar deneyleri planlamak, deney sonuçlarını analiz etmek ve çalışmalarında tahminler yapmak için stokiyometrik temelleri kullanır. Bütün bunlar, yeni keşifler yapmak, atom, molekül ve iyonların mikroskopik dünyası hakkındaki bilgilemizi genişletmek için katkıda bulunurlar.

Bu bölümde, öncelikle kimyasal tepkimeleri kimyasal eşitliklerle göstermeyi öğreneceğiz. Daha sonra, kimyasal tepkimelerde yer alan türler arasında nicel bağıntılar kurmak için kimyasal eşitlikleri nasıl kullanacağımızı göreceğiz. Bu bölüm boyunca, problem çözümlerinde mol kavramını kullanarak, çözüm yollarını anlatacağız.

4-1 Kimyasal Tepkimeler ve Kimyasal Eşitlikler



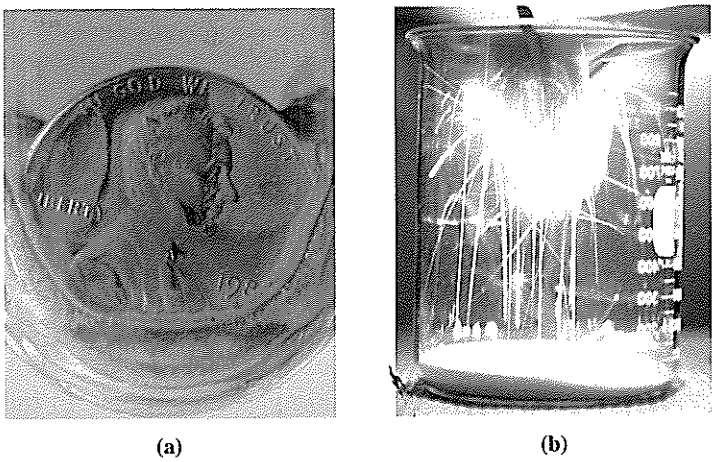
▲ ŞEKİL 4-1
Gümüş kromatın çökmesi
Gümüş nitrat ve potasyum kromatın sulu çözeltileri karıştırıldığında, kromat iyonunun sarı rengi kaybolur ve kırmızı kahverengi katı gümüş kromat çöker. Bu olay, tepkimenin meydana geldiğini gösteren fiziksel bir kanıttır.

Kimyasal tepkime, bir ya da bir kaç maddenin **(tepkenler)** yeni bir bileşik grubuna **(ürünler)** dönüştürülmesi işlemidir. Diğer bir deyişle, kimyasal tepkime, kimyasal değişmenin meydana geldiği bir işlemdir. Çoğu zaman, maddeler bir araya getirilip karıştırıldığında hiç bir tepkime olmaz ve maddeler başlangıçtaki özellik ve bileşimini korurlar. Bir tepkime olduğunu söyleyebilmek için bazı kanıtlara gereksinim vardır. Bunlar,

- renk değişimi (Şekil 4-1)
- berrak bir çözelti içinde çökelek oluşumu (Şekil 4-1)
- gaz çıkışı (Şekil 4-2a)
- ısı salınması ya da soğurulması (Şekil 4-2b) gibi olaylardır.

Bu gözlemler bir tepkimenin oluştuğu anlamına gelmekle birlikte, kesin bir kanıt elde edebilmek için mevcut tüm maddeleri belirlemek amacıyla tepkime karışımının ayrıntılı bir analizini yapmak gerekir. Ayrıca, fiziksel bir belirti olmasa bile, kimyasal analiz, bir kimyasal tepkimenin varlığını gösterebilir.

Element ve bileşiklerin yazılması için simgeler kullanılır. Bu simgeler **kimyasal eşitlik** adı verilen bir **kimyasal tepkime** denkleminin kısaca yazılmasına yardımcı olur. Bir kimyasal eşitlikte tepkenlerin formülleri eşitliğin *sol tarafına*, ürünlerin formülleri ise eşitliğin *sağ tarafına* yazılır. Eşitliğin her iki tarafı bir ok (⟶) yardımı ile birleştirilir. Böyle yazmakla tepkenlerin ürünleri *oluşturduğunu* söyleriz. Renksiz azot monoksit ve ok-



(a) (b)

▶ ŞEKİL 4-2
Kimyasal bir tepkimenin kanıtları
(a) Gaz çıkışı: Bakır bir para nitrik asitle tepkimeye girdiğinde, kırmızı kahve renginde NO_2 gazı çıkar. **(b)** Isı açığa çıkması: Demir talaşı (çelik yünü) oksijen atmosferinde yakıldığında, ışık ve ısı salınımı olur. Bunlar bir tepkimenin fiziksel kanıtlarıdır.

sijen gazlarının kırmızı-kahve renkli azot dioksit gazını oluşturduğu tepkimeyi düşünelim. Bu tepkime nitrik asit üretiminde kullanılır.

Azot monoksit + oksijen ⟶ azot dioksit

Bu tepkimenin gösterimini kısaltmak için iki şey yapmak zorundayız.

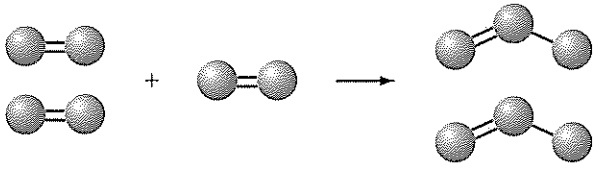
1. Adları, kimyasal *formüller* ile değiştirirseniz, aşağıdaki ifadeyi elde edersiniz.

$$NO + O_2 \longrightarrow NO_2$$

Bu eşitlikte, sol tarafta *üç* O atomu vardır (*biri* NO molekülünde, *ikisi* O_2 molekülünde). Sağ tarafta ise yalnızca *iki* O atomu bulunmaktadır (NO_2 molekülünde). Bir kimyasal tepkimede atomlar var ya da yok edilemeyeceğine göre, eşitliğin denkleştirilmesi gerekir.

2. Denkleştirilmiş bir kimyasal eşitlik elde etmek için eşitliğin her iki tarafındaki atom sayılarını eşitleyiniz.* Bu basamakta, NO ve NO_2 formüllerinin önüne iki katsayısı konur. Bu, iki molekül NO ve bir molekül O_2 tüketildiğinde iki molekül NO_2 oluştuğu anlamına gelir. Denkleştirilmiş eşitliğin her iki tarafında da *iki* N ve *dört* O atomu vardır. **Denkleştirilmiş** bir eşitlikte, her bir elementin toplam atom sayısı, eşitliğin her iki tarafında da aynıdır. Tepkimenin simgelerle ve molekül düzeyinde yazılan eşitlikleri aşağıdadır.

$$2\,NO + O_2 \longrightarrow 2\,NO_2$$



Kimyasal eşitliği denkleştirmek için gerekli katsayılara **stokiyometrik katsayılar** denir. Bu katsayılar, kimyasal hesaplamalarda bir kimyasal tepkimede kullanılan tepken ve oluşan ürünlerin miktarları arasındaki ilişkiyi gösterirler. Bir kimyasal eşitliğin denkleştirilmesinde akılda tutulması gereken şey:

Birleşik kimyasal eşitlik, sadece formüllerin katsayıları ayarlanarak denkleştirilebilir.

Yukarda verilen eşitlik denkleştirme yöntemine, *sınayarak denkleştirme* denir. Sınama ile denkleştirmede, uygun stokiyometrik katsayılar bulununcaya kadar "sınama-yanılma" yöntemi uygulanır. Elementler, her hangi bir türden başlanarak denkleştirilebilirse de, bu denkleştirme işi gelişigüzel olmamalıdır. Eşitliklerin denkleştirilmesi için belirli bir sistematik yol izlenir:

- Denklemin her iki tarafında yer alan bileşikte aynı element mevcutsa, *önce* onu denkleştiriniz.
- Tepkimeye giren maddelerden ya da oluşan ürünlerden biri *serbest* element olarak bulunuyorsa, bu elementi *en son* denkleştiriniz.
- Bazı tepkimelerde, belirli atom grupları (örneğin, çok atomlu iyonlar) değişmeden kalır. Böyle durumlarda bu grupları bir birim olarak denkleştirebilirsiniz.

◀ Bazen bir tepkimenin ürünleri kısmen ya da tamamen tekrar tepkimeye girerek yeniden çıkış maddelerini (tepkenleri) oluştururlar. Bu tür tepkimelere *tersinir* tepkimeler denir ve çift okla (⇌) gösterilirler. Bu bölümün amacına uygun olarak, geriye doğru olan tepkime ihmal edilecek ve tepkimenin yalnızca ileriye doğru yürüdüğü varsayılacaktır. Bölüm 15 de tesinir tepkimeleri ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

◀ NO ve O_2 nin tepkimesi, çevreyi önemli derecede ilgilendirir. Otomobil motorları ve diğer tüm yanma aygıtları NO oluşturur. Katalitik konvertörün bir amacı, yayılan NO miktarını azaltmaktır. Atmosferde NO, yanda gösterilen tepkime ile kahverengi NO_2'ye dönüşür. Bu durum, çoğu şehir atmosferinin niçin hafifçe kahverengi olduğunu açıklar.

* Bir eşitliğin ister matematiksel ister kimyasal olsun, sağ ve sol tarafı eşit olmalıdır. Bir denklem denkleştirilmemiş ise bunu eşitlik olarak adlandıramayız. Öyleyse, *kimyasal eşitlik* terimi, otomatik olarak bu denkliğin varlığını belirtir. Zorunlu olmamasına karşın, *denkleştirme* terimi, kimyasal bir eşitlik söz konusu olduğunda yaygın olarak kullanılır.

▶ Bölüm 7 ve 19'da, kesirli katsayıların gerekli olduğu birkaç durumla karşılaşacaksınız.

- Katsayılar tam sayı ya da kesirli sayı olabilir. Bir eşitlik bir ya da daha çok kesirli katsayı ile kolayca denkleştirilebilir. Bu durumda, *tüm* katsayıları uygun bir çarpanla çarparak kesirli sayılardan kurtulabilirsiniz.

UNUTMAYINIZ

Burada açıklanan denkleştirme yöntemleri basit tepkimeler içindir. Bazı tepkimeler, sınayarak denkleştirilemez ve denkleştirme için sistematik yöntemlerin kullanılması gereklidir. Bölüm 5'de bu yöntemleri kullanacağız.

Bu noktada yapmanız gereken iş, tepkimeye girenlerin ve çıkanların formüllerini yazıp, tepkime eşitliğini denkleştirmektir. Daha sonraki bölümlerde, bazı tepkenler uygun koşullar altında bir araya getirildiğinde oluşan ürünlerin nasıl tahmin edileceği anlatılacaktır. Önceki bölümde öğrendiklerimize dayanarak, şu an bile, *yanma tepkimesinden* oluşan ürünleri tahmin edebiliriz. Hidrokarbonlar ve karbon-hidrojen-oksijen bileşikleri aşırı oksijen ile yandığında yalnızca karbon dioksit ve su oluşur. Bileşik kükürt içeriyorsa, yanması sonucu kükürt dioksit de meydana gelir. Bu bilgiler ışığında bir eşitliğin nasıl denkleştirileceği Örnek 4-1 ve 4-2 de gösterilmiştir.

ÖRNEK 4-1 Bir Eşitliğin Denkleştirilmesi

Amonyak ve oksijen değişik tepkimeler verebilir. Aşağıdaki tepkime bunlardan biridir. Bu tepkimenin eşitliğini denkleştiriniz.

$$NH_3 + O_2 \longrightarrow N_2 + H_2O$$

Analiz

Eşitliğin her iki tarafındaki türlerin atom sayılarını denkleştirmek için NH_3, O_2, N_2 ve H_2O'nun katsayıları ayarlanır. N, H ve O olmak üzere üç çeşit atom var. Kimyasal eşitlik, herbir atom sayısı için eşitlik sağlanırsa denkleştirilmiş olur.

Çözüm

Eşitliğin sol tarafında *bir* N (NH_3 ten) atomu ve sağ tarafında *iki* N atomu (N_2 den) bulunmaktadır. Öyleyse, NH_3 ün önüne 2 katsayısı konulmalıdır.

$$2\,NH_3 + O_2 \longrightarrow N_2 + H_2O$$

Eşitliğin sol tarafında *altı* H atomu (2 NH_3 ten) ve sağ tarafta yalnızca *iki* H atomu (H_2O dan) vardır. H atomlarının denkliğini sağlamak için H_2O önüne 3 katsayısı yazılmalıdır.

$$2\,NH_3 + O_2 \longrightarrow N_2 + 3\,H_2O$$

Şu anda, sol tarafta *iki* O atomu (O_2 den), sağ tarafta *üç* O atomu (3 H_2O dan) vardır. Solda bulunan O_2 nin önüne 3/2 katsayısı yazıldığında, O atomu da eşitlenir.

$$2\,NH_3 + \tfrac{3}{2}O_2 \longrightarrow N_2 + 3\,H_2O \quad \text{(denkleştirildi)}$$

Bütün katsayıların tam sayı olduğu denkleştirilmiş bir eşitlik elde etmek için her iki tarafı 2 ile çarpmak gerekir.

$$4\,NH_3 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,N_2 + 6\,H_2O \quad \text{(denkleştirildi)}$$

Değerlendirme

Yukarıdaki denkleştirilmiş eşitlikte, eşitliğin her iki yanında da *dört* N, *on iki* H ve *altı* O atomu olduğuna dikkat ediniz.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki eşitlikleri denkleştiriniz

(a) $H_3PO_4 + CaO \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + H_2O$

(b) $C_3H_8 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$

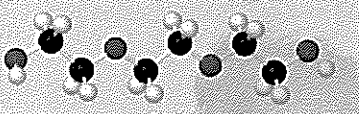
ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki eşitlikleri denkleştiriniz.

(a) $NH_3 + O_2 \longrightarrow NO_2 + H_2O$

(b) $NO_2 + NH_3 \longrightarrow N_2 + H_2O$

ÖRNEK 4-2 **Bir Eşitliğin Yazılıp Denkleştirilmesi: Karbon, Hidrojen ve Oksijen İçeren Bir Bileşiğin Yanması**

Sıvı trietilen glikol, vinil ve poliüretan plastikleri için çözücü ve plastikleştirici olarak kullanılır. Bu bileşiğin oksijen ile tam yanmasına ait denkleştirilmiş bir kimyasal eşitlik yazınız. Trietilen glikolün top-çubuk modeli yanda gösterilmiştir.



Trietilen glikol

Analiz

Trietilen glikolün formülünü yukarıdaki molekül modelinden çıkarabiliriz. (İç kapakta bulunan renkli şemaya bakınız). Bu modelde 6 C atomu (siyah), 4 O atomu (kırmızı) ve 14 H atomu görülmektedir. Formül, $C_6H_{14}O_4$ dür. Karbon, hidrojen ve oksijen bileşiği, aşırı O_2 varlığında yakıldığı zaman oluşan ürünler CO_2 ve H_2O dur.

Çözüm

Tepken ve ürünler belirlendikten sonra, tepkimenin tüm tepken ve ürünleri gösteren denkleştirilmemiş bir kimyasal eşitliği yazılır ve daha sonra her bir atom türü denkleştirilir.

Başlangıç eşitliği: $C_6H_{14}O_4 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$

Denkleştirilmiş C: $C_6H_{14}O_4 + O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + H_2O$

Denkleştirilmiş H: $C_6H_{14}O_4 + O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 7\,H_2O$

Bu durumda denklemin sağ tarafında 19 O atomu (altı CO_2 molekülünden 12 ve 7 H_2O molekülünden 7), sol tarafında sadece 4 O atomu vardır ($C_6H_{14}O_4$ de) ve 15 O atomuna gerek duyulmaktadır. Bu nedenle, O_2 için 15/2 lik kesirli bir katsayısı gereklidir.

Denkleştirilmiş O: $C_6H_{14}O_4 + \frac{15}{2}O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 7\,H_2O$ (denkleştirildi)

İstenirse kesirli katsayıyı kaldırmak için tüm katsayılar iki ile çarpılabilir:

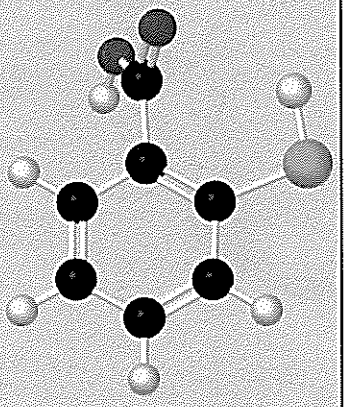
$$2\,C_6H_{14}O_4 + 15\,O_2 \longrightarrow 12\,CO_2 + 14\,H_2O \quad \text{(denkleştirildi)}$$

Değerlendirme

Eşitliğin denkleşip denkleşmediğini kontrol etmek için her iki tarafında bulunan C, H ve O atomlarının sayıları belirlenir.

Sol: $(2 \times 6) = 12$ C; $(2 \times 14) = 28$ H; $[(2 \times 4) + (15 \times 2)] = 38$ O

Sağ: $(12 \times 1) = 12$ C; $(14 \times 2) = 28$ H; $[(12 \times 2) + (14 \times 1)] = 38$ O



Tiyosalisilik asit

ALIŞTIRMA A: Cıva (II) sülfür ve kalsiyum oksitten, kalsiyum sülfür, kalsiyum sülfat ve cıva metali veren tepkimenin denklemini yazınız ve denkleştiriniz.

ALIŞTIRMA B: İndigo boyalarının üretiminde kullanılan tiyosalisilik asit, $C_7H_6O_2S$, bileşiğinin yanma eşitliğini yazıp denkleştiriniz. $C_7H_6O_2S$ için top-çubuk modeli yukarıda gösterilmiştir

Maddenin Halleri

Amonyak (Örnek 4-1) 25 °C de gaz, fakat trietilen glikol (Örnek 4-2) sıvıdır. Amacımız sadece bir eşitliği denkleştirmek ise, bu bilgiler önemli değildir. Bununla birlikte, bu bilgileri de içeren bir tepkime daha ayrıntılı gösterilmiş olur ve bazen kimyasal bir eşitliğin bu bilgiyi içermesi gereklidir. Tepkenlerin ve ürünlerin fiziksel halleri parantez içinde simgelerle gösterilir. Bu simgelerden en çok kullanılanlar aşağıda verilmiştir.

(g) gaz (s) sıvı (k) katı

Buna göre, trietilen glikolün yanma tepkimesini aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$2\,C_6H_{14}O_4(s) + 15\,O_2(g) \longrightarrow 12\,CO_2(g) + 14\,H_2O(s)$$

◀ Yüksek yanma sıcaklığında su $H_2O(g)$ halinde bulunur. Fakat tepkime ürünleri başlangıç sıcaklığına soğutulduğunda su $H_2O(s)$ şeklinde yoğunlaşır.

Suda çözünen tepkenler ve ürünler için yaygın olarak kullanılan diğer simge;

(suda): *sulu* çözelti demektir.

Tepkime Koşulları

Kimyasal tepkime eşitliği, tek başına, bir laboratuvar ya da fabrikada tepkimeyi gerçekleştirmek için yeterli bilgiyi vermez. Modern kimya araştırmalarının önemli bir kısmı, tepkime koşullarını bulmayı amaçlar. Bir eşitlikte, tepkime koşulları genellikle eşitlik okunun üstüne ya da altına yazılır. Örneğin, Yunan büyük harfi delta, Δ, tepkimenin yüksek sıcaklıkta yürüdüğünü ifade eder. Bu durumda tepkime karışımı, gümüş oksitin *bozunma* tepkimesinde olduğu gibi, ısıtılmak zorundadır.

▶ *Bozunma tepkimesinde* bir madde, daha basit bileşenlerine parçalanır (örneğin, elementlerine dönüşür).

$$2\,Ag_2O(k) \xrightarrow{\Delta} 4\,Ag(k) + O_2(g)$$

Aşağıdaki eşitlikte, BASF (Badische Anilin & Soda-Fabrik) yöntemine göre, CO ve H_2 den metanol sentezinde, tepkime koşulları eşitlik okunun üzerine ve altına yazılanlarla daha açık bir şekilde gösterilmiştir. Bu tepkime, *katalizör* olarak kullanılan ZnO ve Cr_2O_3 karışımının yüzeyinde, normal atmosfer basıncının 340 kat fazlası toplam gaz basıncında ve 350 °C sıcaklıkta meydana gelir. Daha sonra ifade edileceği gibi, katalizör tepkimeyi hızlandırmak için tepkimeye katılan ve harcanmadan çıkan maddeye denir.

▶ *Sentez tepkimesinde* iki veya daha çok maddenin (tepkenler ya da başlangıç maddeleri) tepkimeye girmesinden yeni bileşikler oluşur.

$$CO(g) + 2\,H_2(g) \xrightarrow[\substack{340\ atm \\ ZnO,\ Cr_2O_3}]{350\ °C} CH_3OH(g)$$

Tepkenlerin belirli miktarları tüketildiğinde, belirli bir ürünün ne kadar oluşacağını hesaplamak önemlidir. Sonraki bölümde, dönüşüm faktörlerinin oluşturulmasında kimyasal eşitliklerin nasıl kullanılacağını göreceğiz.

4-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki eşitliklerde, K, Cl ve O elementlerinin atom sayıları, denklemin her iki tarafında eşit olmalıdır. Katı potasyum kloratın parçalanarak katı potasyum klorür ve oksijen gazını verdiği tepkime için, aşağıdakilerden hiçbiri kabul edilebilir denkleştirilmiş bir eşitlik değildir. Niçin?

(a) $KClO_3(k) \longrightarrow KCl(k) + 3\,O(g)$

(b) $KClO_3(k) \longrightarrow KCl(k) + O_2(g) + O(g)$

(c) $KClO_3(k) \longrightarrow KClO(k) + O_2(g)$

4-2 Kimyasal Eşitlikler ve Stokiyometri

Yunancada *stoicheion* sözcüğü element anlamına gelir. Anlam olarak ***stokiyometri,*** elementlerin ölçülmesi demektir. Ancak uygulamada stokiyometri, atom ve formül kütleleri, kimyasal formüller ve eşitlikler arasındaki tüm nicel ilişkileri kapsar. Bölüm 3 de kimyasal formüllerin nicel anlamı üzerinde durulmuştu. Bu bölümde ise kimyasal eşitliğin nicel yönleri genişletilerek anlatılacaktır.

$$2\,H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,H_2O(s) \qquad (4.1)$$

Yukarıdaki tepkime eşitliğindeki katsayıların anlamı şöyledir:

$$2x \text{ molekül } H_2 + x \text{ molekül } O_2 \longrightarrow 2x \text{ molekül } H_2O.$$

Burada, $x = 6{,}02214 \times 10^{23}$ (Avogadro sayısı) alındığını varsayalım. Bu durumda x molekül *1 mol* demektir. Bu kez kimyasal eşitlik

$$2 \text{ mol } H_2 + 1 \text{ mol } O_2 \longrightarrow 2 \text{ mol } H_2O$$

şeklinde ifade edilir.

Kimyasal eşitlikteki katsayılardan aşağıdaki ifadeleri çıkarabiliriz.

- Tepkimede *iki* mol H_2 *tüketilir, iki* mol H_2O *oluşur.*
- *Bir* mol O_2 *tepkimeye girer, iki* mol H_2O *oluşur.*
- *Tüketilen bir mol* O_2 ye karşılık *iki* mol H_2 *tepkimeye girer.*

Bu ifadeleri, stokiyometrik faktör adı verilen dönüşüm faktörlerine çevirebiliriz. **Stokiyometrik faktör,** *mol* esasına göre, bir kimyasal tepkimedeki herhangi iki maddenin miktarları arasındaki bağıntı ile ilgilidir. Bu nedenle stokiyometrik faktör, mol oranıdır. Aşağıdaki örneklerde, stokiyometrik faktörler, mavi renk ile gösterilmiştir.

ÖRNEK 4-3 Tepken ve Ürünün Mol Sayıları Arasındaki İlişki

2,72 mol trietilen glikolün ($C_6H_{14}O_4$) aşırı O_2 de yanmasından kaç mol CO_2 açığa çıkar?

Analiz

Aşırı O_2 terimi, trietilen glikolün CO_2 ve H_2O ya tam olarak dönüşümü için gerekli olandan daha fazla O_2 olduğunu ifade eder. $C_6H_{14}O_4$ den CO_2 in mollerine dönüşüm faktörü, yanma tepkimesi için denkleştirilmiş eşitlikten elde edilir.

Çözüm

Bir stokiyometrik hesaplamada ilk adım, tepkime için denkleştirilmiş bir eşitlik yazmaktır. Denkleştirilmiş kimyasal eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$2\,C_6H_{14}O_4 + 15\,O_2 \longrightarrow 12\,CO_2 + 14\,H_2O$$

12 mol CO_2, 2 mol $C_6H_{14}O_4$ ün yanması ile oluşur. 12 mol CO_2 oluşumu, 2 mol $C_6H_{14}O_4$ tüketilmesine eşdeğerdir. Bu yüzden 12 mol CO_2/2 mol $C_6H_{14}O_4$ oranı ile, mol $C_6H_{14}O_4$ ü, mol CO_2'e çevirebiliriz.

$$?\text{ mol } CO_2 = 2{,}72 \text{ mol } C_6H_{14}O_4 \times \frac{12 \text{ mol } CO_2}{2 \text{ mol } C_6H_{14}O_4} = 16{,}3 \text{ mol } CO_2$$

Değerlendirme

Yukarıdaki ifade, birbirine eşit olan aşağıdaki iki eşit orana göre yazılabilir:

$$\frac{?\text{ mol } CO_2}{2{,}72 \text{ mol } C_6H_{14}O_4} = \frac{12 \text{ mol } CO_2}{2 \text{ mol } C_6H_{14}O_4}$$

Bu ifadeden bilinmeyenin miktarına geçilir.

ALIŞTIRMA A: 1,76 mol potasyum kloratın bozunmasından kaç mol O_2 elde edilir?

$$2KClO_3(k) \longrightarrow 2\,KCl(k) + 3O_2(g)$$

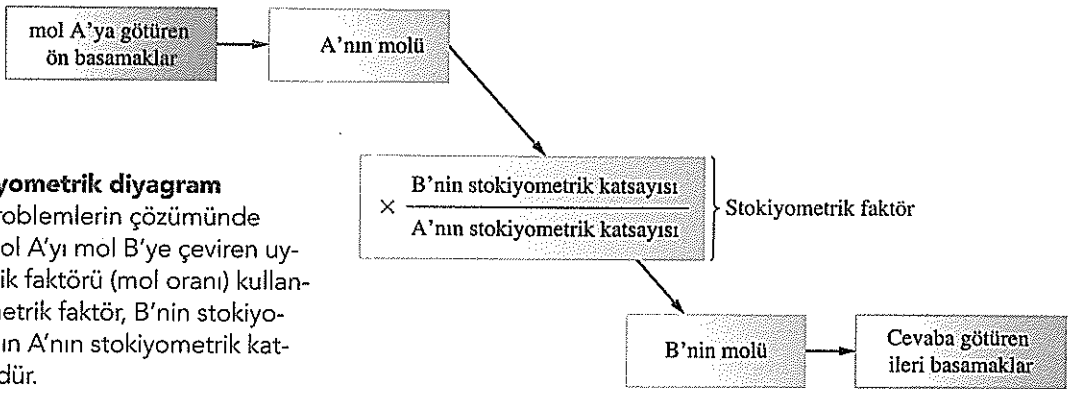
ALIŞTIRMA B: 1,00 kg gümüş (I) oksidin bozunmasından kaç mol Ag elde edilir?

$$2\,Ag_2O(s) \longrightarrow 4\,Ag(s) + O_2(g)$$

Tepkime stokiyometrisi problemleri nispeten basitten karmaşığa doğru verilcektir. Ancak hepsi de aynı genel yol ile çözülebilir. Şekil 4-3 de şema halinde gösterilen bu yol, A maddesi hakkında verilen bir bilgiden B maddesi hakkında bilgi sağlar. Dönüşüm yolu, *bilinen* A dan *bilinmeyen* B ye doğrudur. Şekil 4-3 de mavi renkli olarak gösterilen hesaplamadaki amaç, denkleştirilmiş kimyasal eşitlikteki stokiyometrik katsayılardan (yani B nin stokiyometrik katsayısı/A nın stokiyometrik katsayısı) elde edilen bir faktörden faydalanılarak, A nın mol sayısından B nin mol sayısına ulaşmaktır. Örnek 4-3, sadece stokiyometrik faktörü kullanan tek adımlı bir hesaplama-

UNUTMAYINIZ

Stokiyometri problemleri çözülürken, denkleştirilmiş bir kimyasal eşitlik kullanmak ve birimleride dikkate alarak işlem yapmak önemlidir.



▶ ŞEKİL 4-3
Genel bir stokiyometrik diyagram
Stokiyometrik problemlerin çözümünde anahtar adım, mol A'yı mol B'ye çeviren uygun stokiyometrik faktörü (mol oranı) kullanmaktır. Stokiyometrik faktör, B'nin stokiyometrik katsayısının A'nın stokiyometrik katsayısına bölümüdür.

dır. Ancak, Örnek 4.4 – 4.7 hem stokiyometrik faktör kullanmadan önce hem de kullandıktan sonra ilave adımlar gerektirir. Kısacası, bu yol verileri "mollere", "molleri birbirine" ve "mollerden başka birimlere" geçişleri içerir. Dönüşümler ayrı ayrı yapılabilir veya aşağıdaki örneklerde gösterildiği gibi, tek bir adımda çizgisel olarak birleştirilebilir.

ÖRNEK 4-4 Tepken ve Ürünün Kütleleri Arasındaki İlişki

4,16 g trietilen glikolün ($C_6H_{14}O_4$), O_2 nin aşırısı ile tepkimesinden oluşan CO_2 in kütlesi nedir?

Analiz

Genel yol, (1) mollere çevirmeyi, (2) mol sayılarını birbirine çevirmeyi ve (3) molleri başka birimlere dönüştürmeyi içerir. Bu örnekte gerekli olan dönüşümler,

$g\ C_6H_{14}O_4 \xrightarrow{1} mol\ C_6H_{14}O_4 \xrightarrow{2} mol\ CO_2 \xrightarrow{3} g\ CO_2$, numaralandırılan her bir ok, soldan sağa doğru birim değişimleri için bir dönüşüm faktörünü gösterir.

Çözüm

Dönüşümler, ya basamaklı yaklaşım ya da çevirme yolu (çizgisel yol) yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilebilir. *Basamaklı yaklaşım* ile aşağıdaki işlemleri yaparız.

Dönüşüm faktörü olarak $C_6H_{14}O_4$ ün mol kütlesini kullanarak $C_6H_{14}O_4$ ün gramından $C_6H_{14}O_4$ molüne dönüşüm.

$$?\,mol\ C_6H_{14}O_4 = 4{,}16\ g\ C_6H_{14}O_4 \times \frac{1\ mol\ C_6H_{14}O_4}{150{,}2\ g\ C_6H_{14}O_4} = 0{,}0277\ mol\ C_6H_{14}O_4$$

Stokiyometrik faktör kullanarak $C_6H_{14}O_4$ molünden CO_2'in molüne dönüşüm.

$$?\,mol\ CO_2 = 0{,}0277\ mol\ C_6H_{14}O_4 \times \frac{12\ mol\ CO_2}{2\ mol\ C_6H_{14}O_4} = 0{,}166\ mol\ CO_2$$

Dönüşüm faktörü olarak CO_2 in mol kütlesini kullanarak, CO_2 in molünden CO_2 in gramına dönüşüm.

$$?\ g\ CO_2 = 0{,}166\ mol\ CO_2 \times \frac{44{,}01\ g\ CO_2}{1\ mol\ CO_2} = 7{,}31\ g\ CO_2$$

Dönüşüm yolu (çizgisel yol) yaklaşımında, aşağıda gösterildiği gibi her bir adım tek bir çizgisel hesaplamada birleştirilir.

$$?\ g\ CO_2 = 4{,}16\ g\ C_6H_{14}O_4 \times \underbrace{\frac{1\ mol\ C_6H_{14}O_4}{150{,}2\ g\ C_6H_{14}O_4}}_{\substack{C_6H_{14}O_4\\ \text{molüne}\\ \text{çevirme}}} \times \underbrace{\frac{12\ mol\ CO_2}{2\ mol\ C_6H_{14}O_4}}_{\substack{CO_2\\ \text{molüne}\\ \text{çevirme}}} \times \underbrace{\frac{44{,}01\ g\ CO_2}{1\ mol\ CO_2}}_{\substack{CO_2\\ \text{gramına}\\ \text{çevirme}}} = 7{,}31\ g\ CO_2$$

Bu problemde basamaklı yaklaşım ve çizgisel yaklaşım arasındaki bağlantıya dikkat ediniz. Dönüşüm yolu yaklaşımında, ilk dönüşüm faktörü $C_6H_{14}O_4$ gramını $C_6H_{14}O_4$ ün molüne çevirir. İkinci dönüşüm faktörü, stokiyometrik faktördür. $C_6H_{14}O_4$ ün molünü CO_2 in molüne çevirir. Üçüncü çevirme faktörü CO_2 in molünü, CO_2 in gramına çevirir. Dönüşüm yolu yaklaşımı, tek bir çizgi içinde üç hesaplamayı birleştirir.

Değerlendirme

Çizgisel çözümdeki 4,16 g $C_6H_{14}O_4$ bileşiğinin sağındaki rakamlar (mavi rakamlar) stokiyometrik faktörün 6 olduğunu göstermektedir. $6 \times 44{,}01$ çarpımının sonucu 250 ile 300 arasındadır. 150,2 ye bölündüğü zaman 2 den biraz daha küçük bir faktör verir. Buna göre, CO_2 in kütlesi, $C_6H_{14}O_4$ ün kütlesinin iki katından biraz daha az olmalıdır (7,3 ile $2 \times 4{,}16$'ü karşılaştırınız). Ayrıca, tüm birimlerin, $C_6H_{14}O_4$ kütlesinden CO_2 in kütlesine değin, özellikle son dönüşümde birbirini götürdüğüne dikkat ediniz.

ALIŞTIRMA A: 3,82 g Mg'un aşırı N_2 ile tepkimesinden kaç g magnezyum nitrür, Mg_3N_2, elde edilir?

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki tepkime denklemine göre, 1,00 kg metanol (CH_3OH) elde etmek için kaç g $H_2(g)$ gereklidir?

$$CO + 2H_2 \longrightarrow CH_3OH$$

ÖRNEK 4-5 İki Tepkenin Kütleleri Arasındaki İlişki

6,86 g trietilen glikolün, ($C_6H_{14}O_4$), tamamı yandığında kaç gram $O_2(g)$ tüketilir?

Analiz

Gerekli dönüşümler: $\text{g } C_6H_{14}O_4 \xrightarrow{1} \text{mol } C_6H_{14}O_4 \xrightarrow{2} \text{mol } O_2 \xrightarrow{3} \text{g } O_2$

Çözüm

Öncelikle bu problemi çözmek için basamaklı yaklaşım yöntemini kullanacağız. $C_6H_{14}O_4$ gramından $C_6H_{14}O_4$ molüne dönüşüm faktörü olarak, $C_6H_{14}O_4$ mol kütlesini kullanarak dönüşüm yapılır.

$$?\text{mol } C_6H_{14}O_4 = 6{,}86 \text{ g } C_6H_{14}O_4 \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{14}O_4}{150{,}2 \text{ g } C_6H_{14}O_4} = 0{,}0457 \text{ mol } C_6H_{14}O_4$$

Stokiyometrik faktör kullanarak, $C_6H_{14}O_4$ molünden O_2 nin molüne geçiş yapılır.

$$?\text{mol } O_2 = 0{,}0457 \text{ mol } C_6H_{14}O_4 \times \frac{15 \text{ mol } O_2}{2 \text{ mol } C_6H_{14}O_4} = 0{,}0343 \text{ mol } O_2$$

Dönüşüm faktörü olarak O_2 nin mol kütlesi kullanılarak, O_2 nin molünden O_2 nin gramına geçilir.

$$?\text{ g } O_2 = 0{,}343 \text{ mol } O_2 \times \frac{32{,}00 \text{ g } O_2}{1 \text{ mol } O_2} = 11{,}0 \text{ g } O_2$$

Ya da, Örnek 4-4 deki gibi, bu üç adım tek bir hesaplama çizgisinde birleştirilebilir.

$$?\text{ g } O_2 = 6{,}86 \text{ g } C_6H_{14}O_4 \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{14}O_4}{150{,}2 \text{ g } C_6H_{14}O_4} \times \frac{15 \text{ mol } O_2}{2 \text{ mol } C_6H_{14}O_4} \times \frac{32{,}00 \text{ g } O_2}{1 \text{ mol } O_2} = 11{,}0 \text{ g } O_2$$

Değerlendirme

Yukarıda gösterilen, üç basamağın birleştirildiği tek çizgisel hesaplama üzerinde duralım. Yukarıdaki işlemdeki 6,86 g $C_6H_{14}O_4$ bileşiğinin sağındaki rakamlar (mavi rakamlar) stokiyometrik faktörün 7,5 olduğunu göstermektedir. $7{,}5 \times 32{,}00$ yaklaşık 250 olup, 150,2 ye bölündüğünde yaklaşık $250/150 = 5/3$ lük bir faktör verir. O_2 nin kütlesi, $C_6H_{14}O_4$ ün kütlesinin yaklaşık 5/3 ü olmalıdır. Yani 6,86'nın 5/3 ile 11.0 g O_2'yi karşılaştırınız. Bu değer, 12 den biraz daha az veya yaklaşık 35/3 dür. Örnek 4.4 de uygun birimlerin birbirini yok ettiğine dikkat ediniz.

ALIŞTIRMA A: Tepkime (4.1)'e göre bir gram O_2 ye karşılık kaç gram NH_3 harcanır?

ALIŞTIRMA B: Bir gram oktan (C_8H_{18}) yandığında kaç gram O_2 tüketilir?

4-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

$2H_2S + SO_2 \longrightarrow 3S + 2\,H_2O$ tepkimesi için aşağıdaki hangi ifadeler doğrudur? Nedenlerinizi açıklayınız.

(a) 1 mol H_2S den 3 mol S oluşur.

(b) Tüketilen her g SO_2 için 3 g S oluşur.

(c) Tüketilen 1 mol H_2S için 1 mol H_2O oluşur.

(d) Oluşan S ün üçte ikisi H_2S den gelir.

(e) Oluşan ürünlerin mol sayıları, tüketilen tepkenlerin mol sayılarına eşittir.

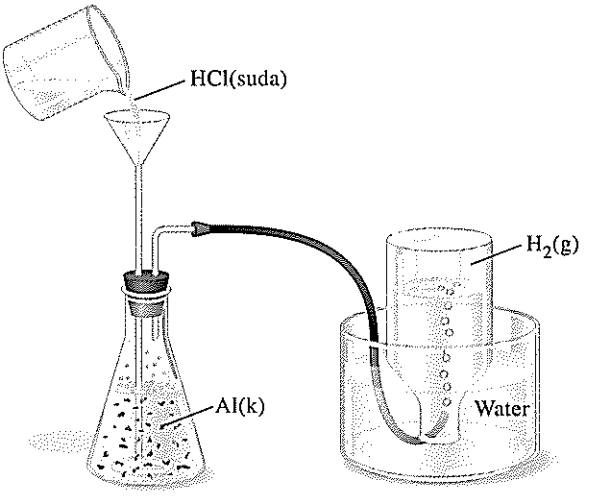
(f) Tepkime sonrası bulunan atomların mol sayısı tepkime öncesi atomların mol sayısı ile aynıdır.

Stokiyometrik hesaplamalarda, Şekil 4-3 de gösterilen stokiyometrik şemanın merkezindeki, mol A ⟶ mol B dönüşüm basamağından önce, ve sonra pek çok başka dönüşümlerde gerekli olabilir. Örnek 4-4 ve 4-5 deki ilave dönüşümlerin mol kütlesini içerdiğini gördük. Diğer yaygın dönüşümler, hacim, yoğunluk ve yüzde bileşim gibi faktörleri gerektirebilir. Bununla birlikte, bir anahtar dönüşüm faktörü olarak, kimyasal eşitlikten elde edilen uygun stokiyometrik faktörü her zaman kullanmak zorundayız.

Katı alüminyum Al(k) ve sulu hidroklorik asit, HCl(suda), arasındaki tepkime, laboratuvarda küçük hacimlerde hidrojen gazı, $H_2(g)$, elde etmek için kullanılabilir. Tepkimenin denkleştirilmiş kimyasal eşitliği aşağıda gösterilmiştir.

$$2\,Al(k) + 6\,HCl(suda) \longrightarrow 2\,AlCl_3(suda) + 3\,H_2(g) \qquad (4.2)$$

Hidrojen gazının toplanması için basit bir laboratuvar düzeneği Şekil 4-4 de görülmektedir. Al(k) ve HCl(suda) arasındaki tepkime, stokiyometrik hesaplamalar için imkân sağlar. Örnek 4-6 ve 4-7 bu tepkime esas alınarak düzenlenmiştir.



▲ ŞEKİL 4-4
2 Al(k) + 6 HCl(suda) → 2 $AlCl_3$(suda) + 3 H_2(g) tepkimesi
HCl(suda), sol tarafta içinde Al(k) bulunan erlene ilave edilir. Tepkime erlende meydana gelir. Açığa çıkan $H_2(g)$, gaz toplama kabındaki su ile yer değiştirerek toplanır. Hidrojen suda çok az çözünür.

ÖRNEK 4-6 Stokiyometrik Hesaplamalarda Hacim, Yoğunluk ve Yüzde Bileşim Gibi Başka Dönüşüm Faktörlerinin Kullanılması

Uçak yapımında kullanılan bir alaşım kütlece % 93,7 Al ve % 6,3 Cu içerir. Bu alaşımın yoğunluğu 2,85 g/cm^3 tür. 0,691 cm^3 alaşım parçası aşırı miktarda HCl(suda) ile tepkimeye giriyor. Cu metalinin HCl(suda) ile tepkimeye girmediği, ancak Al un tamamının HCl(suda) ile tepkimeye girdiği varsayılırsa, elde edilen $H_2(g)$ nin kütlesi ne olur? Tepkime (4.2) yi dikkate alınız.

Analiz

Bu hesaplama için basit bir yaklaşım aşağıda özetlenmiştir. Her bir numaralı ok, soldan sağa doğru birimi değiştiren bir dönüşüm faktörü ile ilgilidir.

$$\text{cm}^3 \text{ alaşım} \xrightarrow{1} \text{g alaşım} \xrightarrow{2} \text{g Al} \xrightarrow{3} \text{mol Al} \xrightarrow{4} \text{mol } H_2 \xrightarrow{5} \text{g } H_2$$

Hesaplama beş farklı adımda yapılabilir ya da beş dönüşümün aynı sırada yapıldığı tek bir adımda yapılabilir.

Çözüm

Basamaklı yaklaşım yöntemi kullanarak aşağıdaki yolu izleriz.

Dönüşüm faktörü olarak yoğunluğu kullanır, alaşımın hacmini alaşımın gramına dönüştürürüz.

$$?\,\text{g alaşım} = 0{,}691\,\text{cm}^3 \text{ alaşım} \times \frac{2{,}85\,\text{g alaşım}}{1\,\text{cm}^3 \text{ alaşım}} = 1{,}97\,\text{g alaşım}$$

Dönüşüm faktörü olarak Al'un % kütlesini kullanır, alaşımın gramını, Al'un gramına dönüştürürüz.

$$?\,\text{g Al} = 1{,}97\,\text{g alaşım} \times \frac{93{,}7\,\text{g Al}}{100\,\text{g alaşım}} = 1{,}85\,\text{g Al}$$

Dönüşüm faktörü olarak mol kütlesini kullanır, Al'un gramını, Al'un molüne dönüştürürüz.

$$?\,\text{mol Al} = 1{,}85\,\text{g Al} \times \frac{1\,\text{mol Al}}{26{,}98\,\text{g Al}} = 0{,}0684\,\text{mol Al}$$

Stokiyometrik faktörü kullanır, Al'un molünü H_2'nin molüne dönüştürürüz.

$$?\,\text{mol } H_2 = 0{,}0684\,\text{mol Al} \times \frac{3\,\text{mol } H_2}{2\,\text{mol Al}} = 0{,}103\,\text{mol } H_2$$

Dönüştürme faktörünü kullanır, H_2 nin molünü H_2 nin kütlesine dönüştürürüz.

$$?\,\text{g } H_2 = 0{,}103\,\text{mol } H_2 \times \frac{2{,}016\,\text{g } H_2}{1\,\text{mol } H_2} = 0{,}207\,\text{g } H_2$$

Basamaklı yaklaşımda, ara sonuçları yuvarlama yapmadan koruduğumuzu hatırlayınız. Ancak aşağıdaki gibi adımların tümü tek bir hesaplama için birleştirildiğinde, ara sonuçları yazmak zorunda değiliz. Böylece yuvarlama hatalarını da azaltırız.

$$?\,\text{g } H_2 = 0{,}691\,\text{cm}^3 \text{ alaşım} \times \frac{2{,}85\,\text{g alaşım}}{1\,\text{cm}^3 \text{ alaşım}} \times \frac{93{,}7\,\text{g Al}}{100\,\text{g alaşım}} \times \frac{1\,\text{mol Al}}{26{,}98\,\text{g Al}} \times \frac{3\,\text{mol } H_2}{2\,\text{mol Al}} \times \frac{2{,}016\,\text{g } H_2}{1\,\text{mol } H_2}$$

$$= 0{,}207\,\text{g } H_2$$

Değerlendirme

Bu yöntemde birimler doğru olarak ortaya çıkmakla birlikte, yanıtın kabul edilebilir olduğunu kontrol etmek gerekir. Al ve H_2 nin mol kütleleri sırası ile yaklaşık 27 g/mol ve 2 g/mol dür, Eşitlik (4.2) 1 mol Al un (yaklaşık 27 g) 1,5 mol H_2 ve dolayısı ile 1,5 × 2 =3 g H_2 oluşturduğunu gösterir. Bu nedenle 27 g Al yaklaşık 3 g H_2 ve 2,7 g Al, yaklaşık 0,3 g H_2 oluşturur. Bu örnekte 2,7 g Al dan daha azı ile ilgileniyoruz ve 0,3 g H_2 den daha az H_2 oluşmasını bekliyoruz. O halde, 0,207 g H_2 cevabı kabul edilebilir bir cevaptır.

ALIŞTIRMA A: 1,00 g H_2 elde etmek için, Örnek 4-6 daki Al-Cu alaşımının ne kadar hacmi, HCl(suda) nin aşırısında çözülmelidir?

[*İpucu:* Bu soruyu Örnek 4-6 nın "tersi" gibi düşünebilirsiniz.]

ALIŞTIRMA B: Örnek 4-6 da verilen bir Al-Cu alaşım örneğinden 1,31 g H_2 elde ediliyor. Bu örnekte kaç gram Cu vardır?

ÖRNEK 4-7 Stokiyometrik Hesaplamalarda Başka Dönüşüm Faktörleri: Hacim, Yoğunluk ve Çözeltinin Yüzde Bileşimi

Kütlece %28,0 lik hidroklorik asit (HCl) çözeltisinin yoğunluğu 1,14 g/mL dir. Tepkime (4.2) ye göre 1,87 g Al ile tam olarak tepkime verebilecek HCl çözelti hacmi nedir?

Analiz

İlk iş, nereden başlanacağını belirlemektir. Problemde HCl yüzdesi (%28,0) ve çözelti yoğunluğu (1,14 g/mL) verilmekle birlikte, 1,87 g Al ile başlamak daha uygundur. Bizim hesaplamamızın amacı, mL cinsinden HCl çözeltisinin hacmini bulmaktır.

$$\text{g Al} \xrightarrow{1} \text{mol Al} \xrightarrow{2} \text{mol HCl} \xrightarrow{3} \text{g HCl} \xrightarrow{4} \text{g HCl çözeltisi} \xrightarrow{5} \text{mL HCl çözeltisi}$$

Hesaplamadaki dönüşüm faktörü (1) Al'un mol kütlesini, (2) Eşitlik (4.2) den stokiyometrik katsayıları, (3) HCl'nin mol kütlesini, (4) HCl çözeltisinin yüzde bileşimini ve (5) HCl çözeltisinin yoğunluğunu içerir.

Çözüm

Basamaklı yaklaşım yöntemi kullanarak, aşağıdaki gibi ilerleriz.

Al'un mol kütlesi yardımı ile Al'un gramını Al'un molüne dönüştürünüz.

$$?\,\text{mol Al} = 1{,}87\,\text{g Al} \times \frac{1\,\text{mol Al}}{26{,}98\,\text{g Al}} = 0{,}0693\,\text{mol Al}$$

Stokiyometrk faktör kullanarak Al'un molünden HCl molüne geçiniz.

$$?\,\text{mol HCl} = 0{,}0693\,\text{mol Al} \times \frac{6\,\text{mol HCl}}{2\,\text{mol Al}} = 0{,}208\,\text{mol HCl}$$

HCl in mol kütlesi yardımı ile HCl in molünden HCl in gramını bulunuz.

$$?\,\text{g HCl} = 0{,}208\,\text{mol HCl} \times \frac{36{,}46\,\text{g HCl}}{1\,\text{mol HCl}} = 7{,}58\,\text{g HCl}$$

Kütlece yüzdeyi kullanarak, HCl'nin gramını HCl çözeltisinin gramına dönüştürünüz.

$$?\,\text{g HCl çözl} = 7{,}58\,\text{g HCl} \times \frac{100\,\text{g HCl çözl.}}{28{,}0\,\text{g HCl}} = 27{,}1\,\text{g HCl çözl}$$

Yoğunluk yardımı ile HCl çözeltisinin gramından HCl çözeltisinin mililitresini bulunuz.

$$?\,\text{mL HCl çözl} = 27{,}1\,\text{g HCl çözl} \times \frac{1\,\text{mL HCl çözl.}}{1{,}14\,\text{g HCl çözl.}} = 23{,}8\,\text{mL HCl çözl}$$

Ya da, çevirme yolu yaklaşımında, tek tek adımları tek bir çizgi şeklinde birleştiririz.

$$?\,\text{mL HCl çözl} = 1{,}87\,\text{g Al} \times \frac{1\,\text{mol Al}}{26{,}98\,\text{g Al}} \times \frac{6\,\text{mol HCl}}{2\,\text{mol Al}} \times \frac{36{,}46\,\text{g HCl}}{1\,\text{mol HCl}} \times \frac{100{,}0\,\text{g HCl çözl}}{28{,}0\,\text{g HCl}} \times \frac{1\,\text{mL HCl çözl}}{1{,}14\,\text{g HCl çözl}} = 23{,}8\,\text{mL HCl çözl}$$

(g Al → mol Al → mol HCl → g HCl → g HCl çözl → mL HCl çözl)

Değerlendirme

Cevabın kabul edilebilir olduğunu belirlemek için kaba rakamlarla problemi tersten çözmek uygundur. Bunun için, çözeltinin yoğunluğu yaklaşık 1 g/mL ve kütlece % 30 alınabilir. Çözeltinin 24 mL'si yaklaşık 24 × 0,30= 7,2 g HCl içerecektir. Eşitlik 4-2, 1 mol Al ya da 27 g Al un 3 mol HCl ya da 108 g HCl ile tepkimeye girdiğini ifade eder. Başka bir deyişle, 4 g HCl, 1 g Al ile tepkimeye girer. Bu örnekte yaklaşık 7,2 g HCl kullanıyoruz. Böylece yaklaşık 7,2 g HCl × 1 g Al/4 g HCl = 1,8 g Al tüketiyoruz. Bu değer tüketilen Al'un gerçek miktarına yakındır. O halde, 23,8 mL HCl cevabının kabul edilebilir olduğu sonucuna varılır.

ALIŞTIRMA A: Örnek 4-7 de tanımlanan hidroklorik asit çözeltisinin bir damlası (0,05 mL), tepkime (4.2) deki aşırı Al ile tepkimeye girdiğinde, elde edilen $H_2(g)$ nin kütlesini miligram olarak hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: Bir sirke örneği kütlece % 4,0 CH_3COOH içeriyor. Bu sirke sodyum karbonat ile etkileşerek sodyum asetat, karbon dioksit ve su veriyor:

$$HC_2H_3O_2(\text{suda}) + NaHCO_3(k) \longrightarrow NaC_2H_3O_2(\text{suda}) + H_2O(s) + CO_2(g)$$

5,00 mL sirke aşırı sodyum karbonat ile tepkime verdiğinde, kaç g CO_2 elde edilir? Sirkenin yoğunluğu 1,01 g/.mL dir.

4-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Ayrıntılı hesaplamalar yapılmaksızın, hangi tepkimenin 1 gram tepken başına en fazla $O_2(g)$ vereceğini bulunuz.

(a) $2\ NH_4NO_3(k) \xrightarrow{\Delta} 2\ N_2(g) + 4\ H_2O(s) + O_2(g)$

(b) $2\ Ag_2O(k) \xrightarrow{\Delta} 4\ Ag(k) + O_2(g)$

(c) $2\ HgO(k) \xrightarrow{\Delta} 2\ Hg(s) + O_2(g)$

(d) $2\ Pb(NO_3)_2(k) \xrightarrow{\Delta} 2\ PbO(k) + 4\ NO_2(g) + O_2(g)$

4-3 Çözeltide Kimyasal Tepkimeler

Genel kimya laboratuvarlarında kimyasal tepkimelerin pek çoğu çözeltilerde gerçekleştirilir. Bunun bir nedeni, çözelti içinde, tepkenlerin karıştırılarak, atomlar, iyonlar veya moleküller arasında tepkime için gerekli yakın temasın sağlanabilmesidir. Çözeltilerdeki tepkimelerin stokiyometrisi, Örnek 4-7 de gördüğümüz tepkimelerin stokiyometrisi gibi tanımlanabilir. Ancak, çözelti stokiyometrisi için birkaç yeni düşünce tarzı gerekebilir.

Çözelti bileşenlerinden biri olan **çözücü,** çözeltinin katı, sıvı ya da gaz halinde olup olmayacağını belirler. Biz bu bölümde çözücünün sıvı su olduğu *sulu çözeltiler* üzerinde duracağız. Çözeltinin diğer bileşenleri ise bir çözücü içinde çözünmüş olan ve **çözünen** olarak adlandırılan maddelerdir. Örneğin, sıvı su içinde NaCl çözündüğünde oluşan çözelti NaCl(suda) şeklinde gösterilir. Burada su çözücü, NaCl çözünendir. Ancak, "*suda*" ifadesi çözeltideki NaCl ve H_2O nun bağıl oranları hakkında herhangi bir bilgi vermez. Bu amaçla *molarite* yaygın olarak kullanılır.

Molarite

Bir çözeltinin bileşimi onun molaritesi ile ifade edilebilir. Molarite, çözeltinin litresi başına çözünen maddenin mol olarak miktarıdır.

◀ IUPAC tarafından molarite için tercih edilen terim *derişim miktarı*, simge ise, çoğu kişi M kullanmasına rağmen, C'dir. $C = M = n/V$ ve molaritenin *birimi* = molarite = M = mol /L'dir.

$$\text{Molarite} = \frac{\text{çözünenin miktarı (mol)}}{\text{çözeltinin hacmi (L)}}$$

$$M = \frac{n}{V} \qquad (4,3)$$

şeklinde yazılabilir:

Burada, M, bir litre çözeltide çözünen maddenin mol sayısı olarak molarite (mol /L), n çözünenin mol miktarı, V ise litre (L) olarak çözelti hacmidir.

0,440 mol üre $[CO(NH_2)_2]$, 1,000 L sulu çözeltide çözünmüşse, çözeltinin derişimi ya da molaritesi,

$$\frac{0,440\ \text{mol}\ CO(NH_2)_2}{1,000\ \text{L çözl}} = 0,440\ \text{M}\ CO(NH_2)_2$$

olur. M sembolü *molar* veya mol/L için kullanılır. Buna göre, 0,440 mol $CO(NH_2)_2$/L çözelti, 0,440 M $CO(NH_2)_2$ çözelti veya 0,440 molar $CO(NH_2)_2$ çözelti demektir. Molaritenin (M) mol/L veya M olduğuna dikkat ediniz. Bu kitapta, italik M sembolünü molariteyi göstermek için, büyük M sembolünü ise (italik olmayan), mol/L biriminin kısaltması için kullandık.

Diğer taraftan, çözeltinin 250,0 mL sinde 0,110 mol üre bulunursa, bu çözelti 0,440 M olur.

$$\frac{0,110\ \text{mol}\ CO(NH_2)_2}{0,2500\ \text{L çözl}} = 0,440\ \text{M}\ CO(NH_2)_2$$

UNUTMAYINIZ

Molaritede kullanılan hacim *çözelti* hacmi olup, ne kullanılan çözücü hacmi ne de çözünen ve çözücünün hacimlerinin toplamıdır. Örneğin, 25,0 mL etanol, 250,0 mL suya ilave edilirse çözelti hacmi ne 250,0 mL ne de 275,0 mL olacaktır. Bölüm 13'de bunun neden böyle olduğunu öğreneceğiz.

Derişimi hesaplarken, öncelikle çözünenin mol miktarını katının kütlesini mol miktarına dönüştürerek veya çözünen sıvı ise, verilen hacmi mol miktarına dönüştürerek belirlemeliyiz. Örnek 4-8 de yoğunluk bir dönüşüm faktörü olarak kullanılmış ve sıvı çözünenin kütlesi ile hacmi arasında bir bağıntı kurulmuştur. Sonra, çözünenin kütlesinden mol sayısına geçiş yapmak için mol kütlesinden yararlanılmıştır. Bu işlemde çözeltinin hacmi, mililitreden (mL) litreye (L) çevrilmelidir.

Şekil 4-5, çözelti hazırlamak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemi göstermektedir. Katı örnek önce tartılır ve 250 mL'lik bir beherde yeterli miktarda suda çözülür. Beheri 250 mL çizgisine kadar su ile doldurmak, çözelti hacminin kesin olarak 250 mL olduğunu göstermez. Bölüm 1-6 da tartışıldığı üzere, beher yeterli kesinlikte kalibre edilmemiş ise sistematik bir hata oluşacaktır. (Bu hata küçük hacimlerde, örneğin, 10- 20 mL de daha fazla olabilir). Çözüneni suda çözmek ve çözelti düzeyini dereceli bir silindirde 250 mL ye tamamlamak da yeterince kesin bir sonuç vermez. Dereceli silindir beherden çok daha kesin olarak kalibre edilmesine karşın, hata halâ 1-2 mL ya da daha çok olabilir. Bununla birlikte Şekil 4-5 de gösterilen ölçülü balon kalibrasyon çizgisine tamamlandığı zaman, 250 mL çözeltide yaklaşık sadece 0,1 mL lik bir hata olur.

Bir çözeltinin molaritesi doğru olarak biliniyorsa, dikkatli bir şekilde ölçülen çözelti hacminde çözünenin mol sayısını aşağıdaki eşitliği kullanarak hesaplayabiliriz.

$$n = M \times V \qquad (4.4)$$

Yukarıdaki ifade, eşitlik (4.3)'e eşdeğerdir. Fakat eşitlik (4.4), çözeltinin litresinden çözünenin molüne geçiş yapmak için molaritenin (M), bir dönüşüm faktörü olduğunu gösterir. Örnek 4-9 da, Şekil 4-5 deki çözeltiyi elde etmek için gerekli olan çözünenin kütlesini belirlemek amacıyla yapılan hesaplamada, dönüşüm faktörü olarak molariteyi kullanmaktayız.

ÖRNEK 4-8 Ölçülen Miktarlardan Molarite Hesabı

25,0 mL etanol, CH_3CH_2OH (d = 0,789 g/mL), 250,0 mL çözelti hazırlanmak üzere yeterli miktar suda çözülüyor. Çözeltideki etanolun molaritesi nedir?

Analiz

Saf etanolün 25,0 mL lik örneğinde kaç mol etanol olduğunu hesaplamak zorundayız. Bu hesaplama şu dönüşümleri içerir: mL etanol $\xrightarrow{1}$ g etanol $\xrightarrow{2}$ mol etanol. İlk dönüştürme, dönüşüm faktörü olarak yoğunluğu, ikinci dönüştürmede ise dönüşüm faktörü olarak mol kütlesini kullanırız. Çözeltinin molaritesi eşitlik (4.3) kullanılarak hesaplanır.

Çözüm

25,0 mL saf etanol numunesinin mol sayısı aşağıdaki gibi tek bir çizgide hesaplanır.

$$?\ \text{mol } CH_3CH_2OH = 25{,}0\ \text{mL } CH_3CH_2OH \times \frac{0{,}789\ \text{g } CH_3CH_2OH}{1\ \text{mL } CH_3CH_2OH} \times \frac{1\ \text{mol } CH_3CH_2OH}{46{,}07\ \text{g } CH_3CH_2OH}$$

$$= 0{,}428\ \text{mol } CH_3CH_2OH$$

(4.3) ifadesinde verilen molarite tanımını uygulamak için 250 mL = 0,25 L olduğunu unutmayınız.

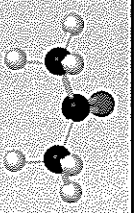
$$\text{molarite} = \frac{0{,}428\ \text{mol } CH_3CH_2OH}{0{,}2500\ \text{L soln}} = 1{,}71\ \text{M } CH_3CH_2OH$$

Değerlendirme

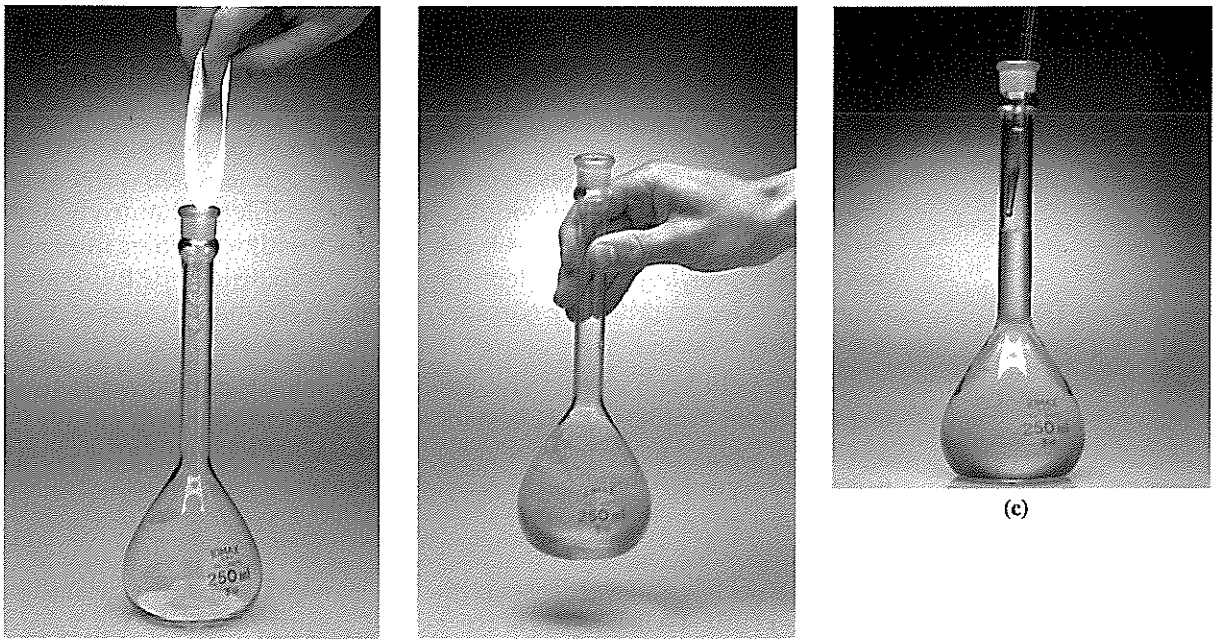
Sorunun yanıtında doğru birimi elde ettiğinizden emin olmak için hesaplamada birimleri doğru kullanmalısınız. Sıvı çözünen ile ilgilenildiğinde, mL çözelti ve mL çözünen arasındaki farka dikkat etmelisiniz.

ALIŞTIRMA A: 22,3 g aseton örneği (yandaki modele bakınız) suda çözülerek 1,25 L lik bir çözelti hazırlanıyor. Bu çözeltideki aseton molaritesi nedir?

ALIŞTIRMA B: 15,0 mL asetik asit, CH_3COOH (d = 1,048 g/mL), yeterli miktarda suda çözülerek 500,0 mL lik bir çözelti hazırlanıyor. Çözeltideki asetik asit molaritesi nedir?



Aseton



(a) (b) (c)

▲ ŞEKİL 4-5
0,250 M K_2CrO_4'ın hazırlanması (Örnek 4-9)
Bu çözelti sadece 12,1 g K_2CrO_4(k) bileşiğinin 250 mL suya ilave edilmesi ile hazırlanamaz. Bunun yerine, (a) K_2CrO_4(k) katısının tartılan miktarı, 250 mL lik temiz ve kuru bir ölçülü balona ilave edilir. (b) K_2CrO_4(k) bileşiği önce 250 mL den daha az miktarda bir suda çözülür ve çalkalanır. (c) Daha sonra çözeltiye dikkatli bir şekilde su eklenerek ölçülü balon tam 250 mL kalibrasyon(ölçümleme) çizgisine kadar suyla doldurulur.

ÖRNEK 4-9 Molaritesi Bilinen Bir Çözeltide Çözünen Maddenin Kütlesinin Hesaplanması

Tam 0,2500 L (250,0 mL) hacminde 0,250 M sulu K_2CrO_4 çözeltisi hazırlanmak isteniyor. Gerekli K_2CrO_4 kütlesi nedir? (Şekil 4-5 e bakınız).

Analiz

Dönüştürme yolu L çözelti ⟶ mol K_2CrO_4 ⟶ g K_2CrO_4 şeklindedir. İlk dönüştürme faktörü, aşağıda mavi olarak gösterilen, çözeltinin molaritesidir. İkinci dönüştürme faktörü K_2CrO_4 bileşiğinin mol kütlesidir.

Çözüm

$$? \text{ g } K_2CrO_4 = 0{,}2500 \text{ L çöz} \times \frac{0{,}250 \text{ mol } K_2CrO_4}{1 \text{ L çöz}} \times \frac{194{,}2 \text{ g } K_2CrO_4}{1 \text{ mol } K_2CrO_4}$$

$$= 12{,}1 \text{ g } K_2CrO_4$$

Değerlendirme

Yanıtın birimleri doğrudur. Problemi ters yönde çözerek ve yuvarlatılan sayıları kullanarak cevabın kabul edilebilir olduğu kontrol edilebilir. Çünkü K_2CrO_4 ın mol kütlesi yaklaşık 200 g/mol ve örnek kütlesi yaklaşık 12 g dır. Örnekteki K_2CrO_4 ın mol sayısı yaklaşık 12/200= 6/100= 0,06 mol dür.Yaklaşık molarite 0,06/0,250 = 0,24 mol/L dir. Bu tahmini değer, gerçek molariteye yakındır. Bu nedenle 12,1 g K_2CrO_4 yanıtı güvenli ve doğrudur.

ALIŞTIRMA A: 25 °C de $NaNO_3$ ile doymuş bir sulu çözeltinin molaritesi 10,8 M $NaNO_3$ dır. 25 °C de bu çözeltinin 125 mL sinde kaç gram $NaNO_3$ bulunur?

ALIŞTIRMA B: 355 mL 0,445 M Na_2SO_4 çözeltisi hazırlamak için kaç gram $Na_2SO_4 \cdot 10\ H_2O$ gereklidir?

▶ *Derişik çözelti* nispeten büyük oranda çözünen madde içerir; *seyreltik çözelti* ise çözünen maddeden nispeten küçük bir miktar içerir.

Çözeltinin Seyreltilmesi

Kimyada yanlış olan yaygın bir görüş, kimyasal malzeme depolarında ve laboratuvarlarda, kimyasal tepkimelerde kullanılmak üzere hazır çözeltiler içeren şişelerin bulunduğu şeklindedir. Hâlbuki her derişimde çözeltiyi saklamak mümkün değildir. Bunun yerine, çoğu laboratuvarlarda *stok çözeltiler* olarak adlandırılan oldukça derişik çözeltiler bulunur ve bu derişik çözeltilere su ilave edilerek çok daha seyreltik çözeltiler ihtiyaç oldukça hazırlanır. Seyreltme işleminde, stok çözelti örneğinde bulunan çözünen madde, seyreltik bir çözeltinin daha büyük bir hacminde dağılır (Şekil 4-6 ya bakınız).

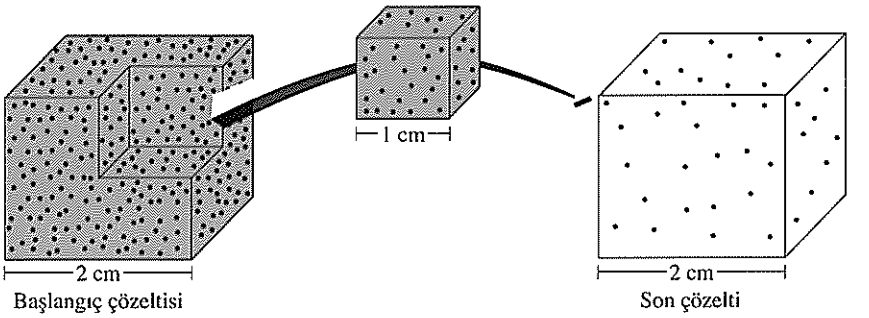
Çözelti belli bir hacme seyreltildiğinde, aslında çözünen madde miktarı *aynı kalır*. Eşitlik (4.4) ü başlangıçtaki (*i*) seyreltilmemiş çözelti için $n_i = M_i \cdot V_i$ ve seyreltilmiş çözelti (*s*) için ise $n_s = M_s V_s$ şeklinde yazarız. $n_i = n_s$ olduğundan, bu iki eşitliği aşağıda verildiği gibi birleştirebiliriz.

$$M_i V_i = M_s V_s \qquad (4.5)$$

UNUTMAYINIZ

Eşitlik (4.5) yalnızca seyreltme problemlerinde uygulanır. Seçenek olarak, *i* ve *s* yerine 1 ve 2 alt indisleride kullanılabilir, $M_1V_1 = M_2V_2$. Bazı öğrenciler stokiyometri problemlerini çözerken madde 1 in molünü madde 2 nin molüne çevirmek için yanlışlıkla $M_1V_1 = M_2V_2$ yi kullanır. Bu yanlışlığı yapmamak için, eşitlik (4.5) kullanıldığında i ve s alt indisleri kullanılmalı, hatta daha iyisi seyreltik için "sey" ve derişik için "der" alt indisleri kullanılmalıdır: $M_{sey}V_{sey} = M_{der}V_{der}$.

Şekil 4-7, laboratuvarda seyreltik bir çözeltinin nasıl hazırlandığını göstermektedir. Örnek 4-10 da ise gerekli hesaplamaların nasıl yapıldığı verilmiştir.



▲ ŞEKİL 4-6

Bir Çözelti Seyrelmesinin Gösterimi

İlk çözeltinin 1/8 i (1 cm^3) alınır ve su ile 8 cm^3 e seyreltilerek son çözelti hazırlanır. 8 cm^3 lük son çözeltide bulunan noktaların sayısı, başlangıç çözeltisinin 1 cm^3 ündeki ile aynıdır.

ÖRNEK 4-10 Seyreltme ile Çözelti Hazırlanması

Analitik kimyada özel bir deney için 0,0100 M K_2CrO_4 çözeltisine gerek duyuluyor. 0,2500 L 0,0100 M K_2CrO_4 çözeltisi hazırlamak için, 0,250 M K_2CrO_4 çözeltisinden kaç mL seyreltilmelidir?

Analiz

İlk olarak, son çözeltide bulunması gereken K_2CrO_4 mol sayısını hesaplarız. Sonra K_2CrO_4 bileşiğinin bu miktarını içeren 0,250 M K_2CrO_4 hacmini hesaplarız.

Çözüm

Öncelikle son çözeltide bulunması gereken çözünen maddenin miktarını hesaplayınız.

$$?\ \text{mol } K_2CrO_4 = 0{,}2500\ \text{L çöz} \times \frac{0{,}0100\ \text{mol } K_2CrO_4}{1\ \text{L çöz}} = 0{,}00250\ \text{mol } K_2CrO_4$$

İkinci olarak, 0,00250 mol K_2CrO_4 içeren 0,250 M K_2CrO_4 hacmini hesaplayınız.

$$?\ \text{L çöz} = 0{,}00250\ \text{mol } K_2CrO_4 \times \frac{1\ \text{L çöz}}{0{,}250\ \text{mol } K_2CrO_4} = 0{,}0100\ \text{L çöz}$$

Diğer bir seçenek, eşitlik (4.5)'i kullanmaktır. Bilinen faktörler şöyledir: hazırlanacak çözeltinin hacmi (V_s = 250,0 mL), başlangıç çözelti derişimi (0,250 M) ve son çözelti derişimi (0,0100 M). Başlangıç hacmi, V yi bulmalıyız. Eşitlik (4.5) deki hacimler litre olarak verilmesine karşın, uygulamada hem V_i hem de V_s için aynı birim olmak koşulu ile (mevcutta mililitre) herhangi bir hacim birimi kullanılabilir. Hacimleri litreye çevirmek için gerekli terim, eşitliğin her iki yanında da aynı olacağından birbirlerini yok ederler.

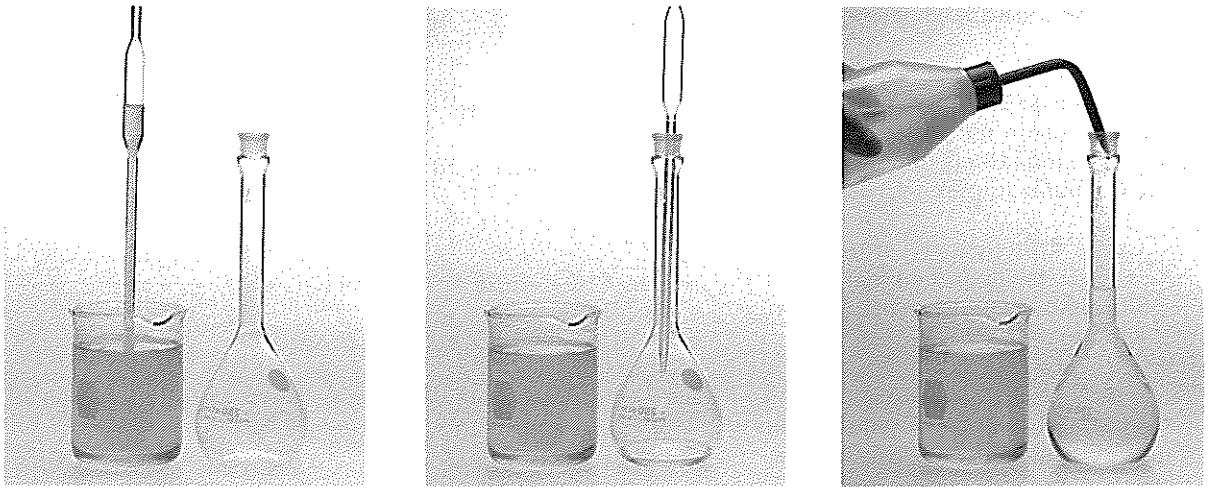
$$V_i = V_s \times \frac{M_s}{M_i} = 250{,}0\ \text{mL} \times \frac{0{,}0100\ \text{M}}{0{,}250\ \text{M}} = 10{,}0\ \text{mL}$$

Değerlendirme

Problemin çözümünü ters yönden ele alalım. 10,0 mL 0,250 M K_2CrO_4 çözeltisini su ile 0,250 L ye seyreltirsek, seyreltilmiş çözeltinin derişimi 0,010 L × 0,250 mol L^{-1}/ 0,250 L = 0,010 mol/L olur. Bu ise, istenilen molaritedir. Bu nedenle yanıt, 10,0 mL 0,250 M K_2CrO_4 doğrudur.

ALIŞTIRMA A: 0,450 M K_2CrO_4 çözeltisinin 15,00 mL si su ile 100,00 mL ye seyreltiliyor. Oluşan çözeltinin derişimi nedir?

ALIŞTIRMA B: 275 mL 0,105 M NaCl çözeltisi içeren ağzı açık bir cam kap (beher) uzun bir süre böyle bırakıldığında, çözelti hacminin, suyun buharlaşmasından dolayı 237 mL ye düştüğü görülmüştür. Çözeltinin yeni derişimi nedir?



(a) (b) (c)

▲ ŞEKİL 4-7

Bir Çözeltinin Seyreltme ile Hazırlanması (Örnek 4-10)

(a) Bir pipet ile10,0 mL 0,250 M K_2CrO_4 çözeltisi çekilir. **(b)** 10,0 mL 0,250 M K_2CrO_4 içeren pipet, 250,0 mL lik bir ölçülü balona boşaltılır. **(c)** Çözelti seviyesini ölçülü balonun kalibrasyon çizgisine getirmek için su ilave edilir. Bu noktada çözelti 0,0100 M K_2CrO_4 olur.

4-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Ayrıntılı hesaplamalar yapmaksızın, su ve çözelti hacimlerininin toplanabilir olduğunu varsayarak, aşağıda elde edilen çözeltilerin molaritelerini bulunuz:

(a) 200,0 mL su 100,0 mL 0,150 M NaCl özeltisine ilave ediliyor.
(b) 250,0 mL 0,800 M $C_{12}H_{22}O_{11}$ den 50,0 mL su buharlaştırılıyor.
(c) 150,0 mL 0,270 M KCl ve 300,0 mL 0,135 M KCl karıştırılıyor.

Çözelti Tepkimelerinin Stokiyometrisi

Örnek 4-11'deki temel birim dönüştürme faktörü, uygun stokiyometrik faktörün kullanıldığı daha önceki stokiyometri problemleri ile aynıdır. Ancak, bunun önceki örneklerden farkı, çözelti hacminin tepken mol sayısına dönüştürülmesi için, molaritenin öncelikle dönüştürme faktörü olarak kullanılmasıdır.

Çözeltiler ile ilgili çok sayıda stokiyometri hesaplama örneğini, Bölüm 5 de inceleyeceğiz.

ÖRNEK 4-11 Tepken Çözeltisinin Hacim ve Molaritesinden Ürün Kütlesinin Hesaplanması

Aşırı $AgNO_3$(suda) çözeltisine 25,00 mL 0,250 M K_2CrO_4 çözeltisi ilave ediliyor. Çöken Ag_2CrO_4(k) kütlesi nedir ?

$$K_2CrO_4(suda) + 2\,AgNO_3(suda) \longrightarrow Ag_2CrO_4(k) + 2\,KNO_3(suda)$$

Analiz

$AgNO_3$(suda) aşırısı terimi ile, 25 mL K_2CrO_4 örneğindeki K_2CrO_4 ın tümünün tüketildiği ifade edilmektedir. Hesaplama 25,00 mL lik hacim ile başlar, gram Ag_2CrO_4 kütlesi ile sona erer. Birim dönüştürme yolu, mL çözelti ⟶ L çözelti ⟶ mol K_2CrO_4 ⟶ mol Ag_2CrO_4 ⟶ g Ag_2CrO_4.

Çözüm

Bu problemi basamaklı yaklaşım yöntemi ile çözelim.

K_2CrO_4'ın hacmini mililitreden litreye dönüştürünüz ve sonra molariteyi, çözeltinin hacmi ve çözünenin molü arasında dönüşüm faktörü olarak kullanınız (Örnek 4-10 daki gibi).

$$?\ mol\ K_2CrO_4 = 25{,}00\ mL \times \frac{1\ L}{1000\ mL} \times \frac{0{,}250\ mol\ K_2CrO_4}{1\ L}$$
$$= 6{,}25 \times 10^{-3}\ mol\ K_2CrO_4$$

K_2CrO_4 bileşiğinin molünden Ag_2CrO_4 bileşiğinin molüne geçmek için eşitlikteki stokiyometrik faktörü kullanınız.

$$?\ mol\ Ag_2CrO_4 = 6{,}25 \times 10^{-3}\ mol\ K_2CrO_4 \times \frac{1\ mol\ Ag_2CrO_4}{1\ mol\ K_2CrO_4}$$
$$= 6{,}25 \times 10^{-3}\ mol\ Ag_2CrO_4$$

Ag_2CrO_4 bileşiğinin molünden Ag_2CrO_4 bileşiğinin kütlesine geçmek için mol kütlesini kullanınız.

$$?\ g\ Ag_2CrO_4 = 6{,}25 \times 10^{-3}\ mol\ Ag_2CrO_4 \times \frac{331{,}7\ g\ Ag_2CrO_4}{1\ mol\ Ag_2CrO_4}$$
$$= 2{,}07\ g\ Ag_2CrO_4$$

Aynı sonuç, yukarıdaki basamakların birleştirildiği tek bir çizgisel hesaplama ile doğrudan da elde edilebilir.

$$?\ g\ Ag_2CrO_4 = 25{,}00\ mL \times \frac{1\ L}{1000\ mL} \times \frac{0{,}250\ mol\ K_2CrO_4}{1\ L} \times \frac{1\ mol\ Ag_2CrO_4}{1\ mol\ K_2CrO_4} \times \frac{331{,}7\ g\ Ag_2CrO_4}{1\ mol\ Ag_2CrO_4}$$
$$= 2{,}07\ g\ Ag_2CrO_4$$

Değerlendirme

Birimler önemlidir. Önceden yaptığımız gibi, problemi tersinden çözelim ve bunun için yuvarlatılmış sayıları kullanalım. 2 g Ag_2CrO_4 örneği, 2/332= 0,006 mol Ag_2CrO_4 içerir. 25 mL K_2CrO_4 çözeltisinde K_2CrO_4 bileşiğinin mol sayısı yaklaşık 0,006 mol dür. K_2CrO_4 çözeltisinin molaritesi yaklaşık 0,006 mol/ 0,025 L = 0,24 M dır. Bu sonuç, gerçek molariteye (0,250 M) yakın olup ve Ag_2CrO_4 kütlesi için cevabımızın doğru olduğuna güvenilebiliriz.

ALIŞTIRMA A: Tam 1,50 g Ag_2CrO_4 elde etmek için aşırı $AgNO_3$(suda) çözeltisine kaç mililitre 0,250 K_2CrO_4 eklenmelidir?
[*İpucu:* Bunu Örnek 4-11 in tersi olarak düşününüz.]

ALIŞTIRMA B: 175 mL 0,0855 M K_2CrO_4 ile tam olarak tepkime verebilmesi için kaç mililitre 0,150 M $AgNO_3$ çözeltisi gereklidir? Oluşan Ag_2CrO_4 çökeleğinin kütlesini hesaplayınız?

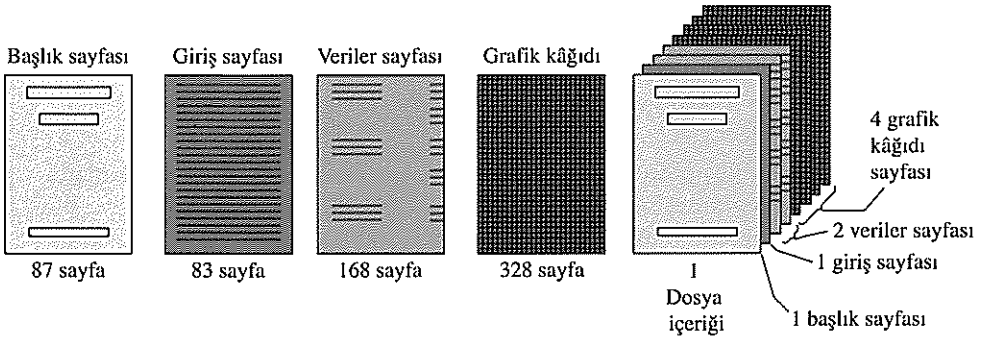
4-4 Sınırlayıcı Bileşenin Belirlenmesi

Bir kimyasal tepkimede tüm tepkenler anında ve tamamen tükeniyorsa, tepkenlerin **stokiyometrik oranlarda** olduğu söylenebilir. Yani, denkleştirilmiş eşitlikteki katsayılar tarafından belirtilen mol oranlarında bulunurlar. Bu durum kimyasal analizlerde gereklidir. Diğer yandan bir çöktürme tepkimesinde, diğer tüm tepkenlerin aşırısı kullanılarak tepkenlerden biri tam olarak ürünlerine dönüştürülebilir. Tamamen tükenen tepkene **sınırlayıcı bileşen** denir ve bu bileşen, oluşan ürünlerin miktarlarını belirler. Örnek 4-11 de görülen tepkimede K_2CrO_4 sınırlayıcı bileşendir ve $AgNO_3$ ın aşırısı kullanılmaktadır. Bu noktaya kadar, aşırı miktardaki tepkenden ve sınırlayıcı bileşenden söz ettik. Bazı durumlarda, sınırlayıcı bileşen açıkça belirtilmez. İki veya daha çok tepken miktarı verilmiş ise, sınırlayıcı bileşeni Şekil 4-8 dekine benzer şekilde kendiniz belirlemek zorundasınız.

◀ Bir *tepkenin aşırısı* demek, o tepkenin ortamda tüketilecek olandan daha fazla olması demektir. Tepkenin fazlası artar.

◀ Kimyasal maddeler sıklıkla *reaktifler* olarak adlandırılır ve bir tepkimedeki sınırlayıcı bileşene bazen *sınırlayıcı reaktifde* denir.

Bazen bir sınırlayıcı bileşen probleminde, aşırı miktardaki tepkenin ne kadarının geride kaldığını ve ne kadar ürün oluştuğunu hesaplamak isteriz. Bu hesaplamanın nasıl yapıldığı Örnek 4-13 de gösterilmiştir.



▲ŞEKİL 4-8

Kimyasal tepkimede sınırlayıcı bileşenin belirlenmesi için bir benzetme (sayfaların birleştirilmesi ile dosya oluşturma deneyi)

Her deney dosyası için, 1 adet başlık sayfası, 1adet giriş sayfası, 2 adet veriler sayfası ve 4 adet grafik kâğıdı sayfası gereklidir. Bu durumda en fazla 82 tane dosyanın oluşturulabileceğini ve grafik kağıdı sayfalarının sınırlayıcı bileşen olduğunu görebiliyormusunuz?

ÖRNEK 4-12 Bir Tepkimede Sınırlayıcı Bileşenin Bulunması

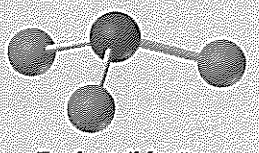
Fosfor triklorür (PCl_3), benzin katkı maddesi, pestisit üretimi ve daha bir çok ürünün eldesinde kullanılan, ticari olarak önemli bir bileşiktir. PCl_3 ün top-çubuk modeli aşağıdaki sayfa kenarında gösterilmiştir. Sıvı PCl_3 bileşiği, fosfor ve klorun doğrudan doğruya birleşmesinden oluşur.

$$P_4(k) + 6\,Cl_2(g) \longrightarrow 4\,PCl_3(s)$$

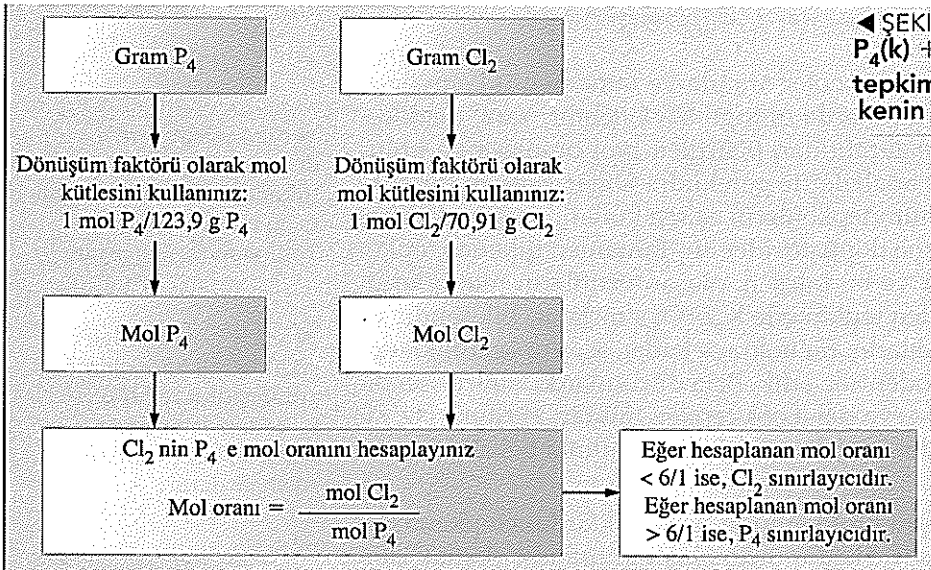
323 g $Cl_2(g)$ ve 125 g $P_4(k)$ tepkimesinden elde edilen PCl_3 maksimum kütlesi nedir?

Analiz

Şu dönüşümler gereklidir: sınırlayıcı tepkenin molü ⟶ mol PCl_3 ⟶ g PCl_3. Bu problemin çözümünde anahtar nokta, sınırlayıcı bileşenin doğru olarak belirlenmesidir. Soruya Şekil 4-9 daki gibi yaklaşabilir ve tepkenlerin başlangıç mol oranları ile birleşme mol oranlarını karşılaştırabiliriz. Birleşme mol oranları 6 mol Cl_2 ye 1 mol P_4 olduğuna göre, P_4 ün 1 molüne karşılık 6 mol den daha fazla Cl_2 varsa, klor fazla demektir ve P_4 sınırlayıcı bileşendir. Şayet P_4 ün 1 molüne karşılık 6 mol den daha az Cl_2 varsa, klor sınırlayıcı bileşendir.



Fosfor triklorür



◀ ŞEKİL 4-9
$P_4(k) + 6Cl_2(g) \longrightarrow 4\,PCl_3(s)$ tepkimesi için, sınırlayıcı tepkenin belirlenmesi

Çözüm

$$?\ \text{mol } Cl_2 = 323\ \text{g } Cl_2 \times \frac{1\ \text{mol } Cl_2}{70{,}91\ \text{g } Cl_2} = 4{,}56\ \text{mol } Cl_2$$

$$?\ \text{mol } P_4 = 125\ \text{g } P_4 \times \frac{1\ \text{mol } P_4}{123{,}9\ \text{g } P_4} = 1{,}01\ \text{mol } P_4$$

1 mol P_4'e karşılık 6 mol'den daha az Cl_2 olduğundan, klor sınırlayıcı bileşendir. Bu hesaplamada geriye kalan, 323 g Cl_2 nin aşırı P_4 ile tepkimesinden oluşan PCl_3 ün kütlesini belirlemektir.

Sınırlayıcı bileşen olarak Cl_2 tanımlandığında, hesaplamayı basamaklı yaklaşım yöntemini kullanarak aşağıdaki gibi tamamlayabiliriz.

Cl_2 nin mol kütlesini kullanarak Cl_2 nin gramından Cl_2 nin molüne, dönüştürme;

$$?\ \text{mol } Cl_2 = 323\ \text{g } Cl_2 \times \frac{1\ \text{mol } Cl_2}{70{,}91\ \text{g } Cl_2} = 4{,}56\ \text{mol } Cl_2$$

Cl_2 nin molünden PCl_3 ün molüne, stokiyometrik faktör kullanarak dönüştürme;

$$?\ \text{mol } PCl_3 = 4{,}56\ \text{mol } Cl_2 \times \frac{4\ \text{mol } PCl_3}{6\ \text{mol } Cl_2} = 3{,}04\ \text{mol } PCl_3$$

PCl_3 ün molünden PCl_3 ün gramına, PCl_3 ün mol kütlesini kullanarak dönüştürme;

$$?\ \text{g } PCl_3 = 3{,}04\ \text{mol } PCl_3 \times \frac{137{,}3\ \text{g } PCl_3}{1\ \text{mol } PCl_3} = 417\ \text{g } PCl_3$$

Bu basamakları tek bir çizgide birleştirerek de aynı sonuca varırız.

$$?\ \text{g } PCl_3 = 323\ \text{g } Cl_2 \times \frac{1\ \text{mol } Cl_2}{70{,}91\ \text{g } Cl_2} \times \frac{4\ \text{mol } PCl_3}{6\ \text{mol } Cl_2} \times \frac{137{,}3\ \text{g } PCl_3}{1\ \text{mol } PCl_3} = 417\ \text{g } PCl_3$$

Değerlendirme

Aynı sonucu veren diğer bir yaklaşım ise iki ayrı hesaplama yapmaktır. Bunlardan ilki, 323 g Cl_2 nin aşırı P_4 ile tepkimesinden oluşan PCl_3 ün kütlesini (= 417 g PCl_3) hesaplamak ve sonra 125 g P_4 ün aşırı Cl_2 ile tepkimesinden oluşan PCl_3 ün kütlesini (= 554 g PCl_3) bulmaktır. Bunlardan sadece bir cevap doğrudur ve o da iki yanıttan daima *daha küçük* olandır. Bu yaklaşımın bir üstünlüğü, birçok tepkeni içeren tepkimeler için, kolayca genelleştirme yapılabilmesidir.

ALIŞTIRMA A: Örnek 4-12 deki tepkimeye göre, 725 g Cl_2 ile 215 g P_4 tepkimeye girerse kaç gram PCl_3 oluşur?

ALIŞTIRMA B: PCl_3, Cl_2 ve P_4O_{10} dan alınan 1'er kg'lık örnekler tepkimeye girdiğinde, kaç kg $POCl_3$ oluşur?

$$6\,PCl_3(s) + 6\,Cl_2(g) + P_4O_{10}(k) \longrightarrow 10\,POCl_3(s)$$

ÖRNEK 4-13 Tepkime Tamamlandıktan Sonra Artan Aşırı Tepken Miktarının Bulunması

Örnek 4-12 deki tepkimede artan P_4 ün kütlesi nedir?

Analiz

Örnek 4-12 de Cl_2 nin sınırlayıcı bileşen ve P_4 ün aşırı tepken olduğunu belirtmiştik. Bu problem için çözüm yolu, tüketilen P_4 ün kütlesini hesaplamaktır. Bu hesaplama tüketilen Cl_2 nin kütlesi veya oluşan PCl_3 ün kütlesi dikkate alınarak yapılabilir. Tüketilen P_4 ün kütlesini hesaplamak için tüketilen Cl_2 nin kütlesinden başlayarak aşağıdaki çevirme yolunu kullanabiliriz.

$$g\ Cl_2 \longrightarrow mol\ Cl_2 \longrightarrow mol\ P_4 \longrightarrow g\ P_4$$

Artan P_4 ün kütlesi, P_4 ün toplam kütlesinden tüketilen P_4 ün kütlesi çıkarılarak hesaplanır.

Çözüm

Basamaklı yaklaşım yöntemini kullanarak, tüketilen P_4 ün kütlesini hesaplayabiliriz.

Cl_2 nin mol kütlesini kullanarak Cl_2 nin gramını Cl_2 nin molüne çeviriniz.

$$?\ mol\ Cl_2 = 323\ g\ Cl_2 \times \frac{1\ mol\ Cl_2}{70{,}91\ g\ Cl_2} = 4{,}56\ mol\ Cl_2$$

Stokiyometrik faktörden yararlanarak Cl_2 nin molünü P_4 ün molüne çeviriniz.

$$?\ mol\ P_4 = 4{,}56\ mol\ Cl_2 \times \frac{1\ mol\ P_4}{6\ mol\ Cl_2} = 0{,}759\ mol\ P_4$$

P_4 ün mol kütlesini kullanarak P_4 ün molünü P_4 ün gramına çeviriniz.

$$?\ g\ P_4 = 0{,}759\ mol\ P_4 \times \frac{123{,}9\ g\ P_4}{1\ mol\ P_4} = 94{,}1\ g\ P_4$$

Tek bir çizgi üzerinde yapılan hesaplama aşağıdaki gibidir.

$$?\ g\ P_4 = 323\ g\ Cl_2 \times \frac{1\ mol\ Cl_2}{70{,}91\ g\ Cl_2} \times \frac{1\ mol\ P_4}{6\ mol\ Cl_2} \times \frac{123{,}9\ g\ P_4}{1\ mol\ P_4} = 94{,}1\ g\ P_4$$

Aşağıdaki çizgisel hesaplama, oluşan PCl_3 ün kütlesinden başlandığında, aynı yanıtı elde edeceğimizi gösterir.

$$?\ g\ P_4 = 417\ g\ PCl_3 \times \frac{1\ mol\ PCl_3}{137{,}3\ g\ PCl_3} \times \frac{1\ mol\ P_4}{4\ mol\ PCl_3} \times \frac{123{,}9\ g\ P_4}{1\ mol\ P_4} = 94{,}1\ g\ P_4$$

Tepkime sonrası geride kalan P_4 ün kütlesi, başlangıçta mevcut olan ile tüketilen P_4 kütlesi arasındaki farktır.

$$125\ g\ P_4\ (\text{başlangıçtaki}) - 94{,}1\ g\ P_4\ (\text{tüketilen}) = 31\ g\ P_4\ (\text{geride kalan})$$

Değerlendirme

Hesaplanan sonucun doğru olduğunu onaylamak için kütlenin korunumu yasasını kullanmak mümkündür. Tepkimede kullanılan tepkenlerin toplam kütlesi (323 g + 125 g = 448), ürünün kütlesi (417 g) ve artan P_4 ün kütlesi (31 g) toplamına eşit olmak zorundadır. Artan P_4 ün kütlesi 448 g – 417 g = 31 g dır. 125 sayısında ondalık virgülü sonrası rakam olmadığı için, 31 sayısında da ondalık virgülü sonrasında rakam olmayacaktır.

ALIŞTIRMA A: Örnek alıştırma 4-12A da, hangi tepken fazladır ve tepkimede PCl_3 oluştuktan sonra artan tepkenin kütlesi nedir, hesaplayınız?

ALIŞTIRMA B: 12,2 g H_2 ve 154 g O_2 tepkimeye girdiğinde, tepkimeden sonra hangi gazdan kaç gram artar?

$$2\ H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\ H_2O(s)$$

4-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

1,0 mol $NH_3(g)$ ve 1,0 mol $O_2(g)$ nin tepkimesinden ürün olarak sadece NO(g) ve $H_2O(s)$ oluştuğunu düşünelim. Bu tepkime için aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur? **(a)** 1,0 mol NO(g) oluşur; **(b)** 4,0 mol NO(g) oluşur; **(c)** 1,5 mol $H_2O(s)$ oluşur; **(d)** Tüm $O_2(g)$ tüketilir; **(e)** $NH_3(g)$ sınırlayıcı bileşendir.

4-5 Tepkime Stokiyometrisinde Diğer Konular

Bu bölümde tepkime stokiyometrisi ile ilgili, kimya laboratuvarlarını ve kimyasal madde üretimi yapan fabrikaları ilgilendiren bir kaç konuyu daha ele alacağız. Bunlardan birincisi, bir kimyasal tepkimenin hesaplanan sonucu ile gözlenen sonucu tam olarak uymayabilir. Bir tepkimede elde edilen ürün miktarı, kaçınılmaz olarak beklenenden daha az olabilir. İkincisi, istenilen kimyasal bileşiğin üretim yöntemi, bir kaç basamaklı bir tepkime dizisi içerebilir. Üçüncüsü, bazı durumlarda iki ya da daha fazla tepkime aynı zamanda meydana gelebilir.

Kuramsal Verim, Gerçek Verim ve Yüzde Verim

Bir tepkimenin **kuramsal verimi,** tepkenlerin verilen miktarlarından hesaplanarak elde edilen ürünün miktarıdır. Ürünün *uygulamada* oluşan gerçek miktarına ise **gerçek verim** adı verilir. **Yüzde verim** ise aşağıdaki formülle bulunur.

$$\text{Yüzde verim} = \frac{\text{gerçek verim}}{\text{kuramsal verim}} \times \%100 \qquad (4.6)$$

Pek çok tepkimede gerçek verim, neredeyse tam olarak kuramsal verime eşit olur ve böyle tepkimelere *kantitatif(nicel) tepkimeler* denir. Bu tepkimeleri nicel kimyasal analizlerde kullanabiliriz. Öte yandan, bazı tepkimelerde gerçek verim, kuramsal verimden az olur ve yüzde verim, % 100 den daha düşük bulunur. Verimin az olmasının pek çok nedeni vardır: (1) Bir tepkimenin ürünü, nadiren saf olarak elde edilebilir. Gerekli saflaştırma işlemleri sırasında bazı ürünlerde madde kaybı olabilir. Bu durum verimi düşürür. (2) Çoğu zaman, tepkimeye giren maddeler beklenenden başka tepkimeler de verebilir. Bu tepkimelere **yan tepkimeler,** istenmeyen ürünlere de **yan ürünler** denir. Yan tepkimeler arttığında ana ürünün verimi düşer. (3) Şayet ters yönde bir tepkime meydana gelirse, beklenen ürünün bir kısmı yeniden tepkenleri vermek üzere bozunur. Verim bu durumda da beklenenden az olur.

Ara sıra, tepkime verimi % 100 den daha büyük de çıkar. Olmayan bir şeyi geri alamayacağımıza göre, bu durum, genellikle kullanılan yöntemdeki hatayı işaret eder. Bazı ürünler bir çözücüde çöktürülerek elde edilir. Üründe çözücü kalmış olabilir ve böylece ıslak ürünün kütlesi beklenenden daha büyük olur. Ürün kurutularak daha doğru bir verim elde edilir. Başka bir olasılık, ürünün bir yan ürün veya tepkenin fazlası ile kirletilmiş olmasıdır. Bu, ürünün kütlesinin beklenenden daha büyük olmasına sebep olur. Sonuç olarak ürün, verimi hesaplanmadan önce mutlaka saflaştırılmalıdır.

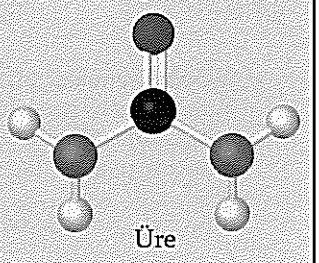
Örnek 4-14 de önemli bir endüstriyel işlemin kuramsal, gerçek ve yüzde verimi hesaplanmıştır.

Eğer bir verimin % 100 den daha az olacağını biliyorsak, istenilen ürün miktarını elde etmek için tepken miktarlarını ona göre ayarlamamız gerekir. Yani, tepkenlerin miktarlarını kuramsal miktarlarının üzerine tutmamız gerekir. Bu konu Örnek 4-15 de anlatılmıştır.

Ardışık Tepkimeler, Eşzamanlı Tepkimeler ve Net Tepkimeler

Hem laboratuvar çalışmasında, hem de kimyasal üretim yapan fabrikada, öngörülen hedef, ürünün tek bir işlem sonucunda elde edilmesidir. Genellikle böyle işlemlerden daha yüksek verim elde edilir. Çünkü ürünü daha sonraki tepkimelerde kullanmak üzere karışımdan almak gerekli değildir. Ancak, çoğu durumda, çok basamaklı işlemler kaçınılmazdır. Son ürünü elde etmek için böyle birbiri ardına gerçekleştirilen tepkimele-

ÖRNEK 4-14 Kuramsal, Gerçek ve Yüzde Verimin Hesaplanması


Üre

Üre, $CO(NH_2)_2$, gübre olarak kullanılır ve yıllık üretimi milyonlarca kg dır. Ürenin top-çubuk modeli yanda gösterilmiştir. Tepkime denklemi şöyle yazılır:

$$2\,NH_3(g) + CO_2(g) \longrightarrow CO(NH_2)_2(g) + H_2O(s)$$

Başlangıçta size verilen tepkime karışımı 3 mol NH_3 : 1 mol CO_2 oranına sahiptir. Tepkimeye giren *her mol* CO_2'e karşılık 47,7 g üre oluşursa, **(a)** kuramsal verimi, **(b)** gerçek verimi **(c)** yüzde tepkime verimini hesaplayınız?

Analiz

Tepkime karışımı NH_3 ve CO_2 türlerinin sabit miktarlarını içerir. Bu nedenle hangi tepkenin sınırlayıcı bileşen olduğunu belirlemek zorundayız. Stokiyometrik oranlar 2 mol NH_3: 1 mol CO_2 dir. Tepkime karışımında NH_3 bileşiğinin CO_2 bileşiğine mol oranı 3:1 verilmektedir. Bu nedenle NH_3 aşırı tepken ve CO_2 sınırlayıcı bileşendir. Ürenin, kuramsal veriminin hesaplanması, sınırlayıcı bileşen olan CO_2 bileşiğinin miktarı üzerinden yapılmalıdır. Ürenin mol miktarı CO_2 ile aynı olduğundan 1 mol CO_2 üzerinden hesaplama yapmalıyız. Gerekli dönüşümler şunlardır: mol CO_2 ⟶ mol $CO(NH_2)_2$ ⟶ g $CO(NH_2)_2$

Çözüm

(a) Basamaklı yaklaşım yöntemi kullanarak kuramsal verimi hesaplayalım

Stokiyometrik faktör kullanarak mol CO_2 miktarını mol $CO(NH_2)_2$ miktarına dönüştürünüz.

$$?\ \text{mol } CO(NH_2)_2 = 1{,}00\ \text{mol } CO_2 \times \frac{1\ \text{mol } CO(NH_2)_2}{1\ \text{mol } CO_2} = 1{,}00\ \text{mol } CO(NH_2)_2$$

Ürenin mol kütlesini kullanarak mol $CO(NH_2)_2$ miktarını g $CO(NH_2)_2$ miktarına dönüştürünüz.

$$?\ \text{g } CO(NH_2)_2 = 1{,}00\ \text{mol } CO(NH_2)_2 \times \frac{60{,}1\ \text{g } CO(NH_2)_2}{1\ \text{mol } CO(NH_2)_2} = 60{,}1\ \text{g } CO(NH_2)_2$$

1 mol CO_2 in 60,1 g $CO(NH_2)_2$ vermesi beklenir. Bu nedenle $CO(NH_2)_2$ nin kuramsal verimi 60,1 g dır. Önceki örneklerde belirtildiği gibi, adımları tek bir çizgisel hesaplama içinde de birleştirebiliriz.

$$\text{kuramsal verim} = 1{,}00\ \text{mol } CO_2 \times \frac{1\ \text{mol } CO(NH_2)_2}{1\ \text{mol } CO_2} \times \frac{60{,}1\ \text{g } CO(NH_2)_2}{1\ \text{mol } CO(NH_2)_2} = 60{,}1\ \text{g } CO(NH_2)_2$$

(b) gerçek verim= 47,7 g $CO(NH_2)_2$

(c) $$\text{yüzde verim} = \frac{47{,}7\ \text{g } CO(NH_2)_2}{60{,}1\ \text{g } CO(NH_2)_2} \times \%100 = \%79{,}4$$

Değerlendirme

Sınırlayıcı bileşeni belirlemek için hızlı bir yol, en küçük (*n/katsayı*) değerine sahip olan tepkeni tanımlamaktır. *n* mevcut tepkenin mol sayısıdır ve *katsayı*, denkleştirilmiş kimyasal eşitlikteki tepkenin katsayısıdır. Bu örnekte, tepkime karışımı 3 mol NH_3 ve 1 mol CO_2 içerir ve bu nedenle (*n/katsayı*), NH_3 için 3/2 = 1,5 ve CO_2 için 1/1= 1 dir. 1 < 1,5 olduğu için CO_2 sınırlayıcı bileşendir. Bu yöntemi kullanarak sınırlayıcı bileşeni nasıl belirlediğimizi anlamak için, tepkenin mol sayısından ürünün mol sayısına nasıl geçiş yaptığımızı bilmek yardımcı olacaktır: n mol tepken $\times \dfrac{\text{ürünün katsayısı}}{\text{tepkenin katsayısı}}$

(*n/katsayı*) küçüldükçe ürün miktarıda küçülecektir. Sınırlayıcı bileşen, en küçük ürün miktarını veren bileşendir (Örnek 4-12 de açıklandığı gibi). Bu nedenle sınırlayıcı bileşen, en küçük (*n/katsayı*) değerine sahip olan bileşendir.

ALIŞTIRMA A: Formaldehit, CH_2O, bakır katalizörlüğünde metanolden aşağıdaki denkleme göre elde edilebilir.

$$CH_3OH(g) \longrightarrow CH_2O(g) + H_2(g)$$

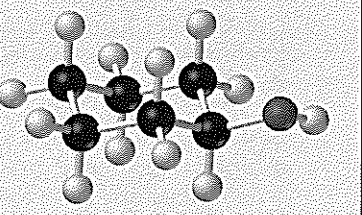
Metanolün molü başına 25,7 g $CH_2O(g)$ elde edilebiliyorsa, **(a)** kuramsal verim **(b)** gerçek verim **(c)** yüzde verimi hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: 25,0 g P_4 ile 91,5 g Cl_2 tepkimeye girdiğinde 104 g PCl_3 oluştuğuna göre, tepkimenin yüzde verimini hesaplayınız. Tepkimenin denkleştirilmiş kimyasal eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$P_4(k) + 6Cl_2(g) \longrightarrow 4\,PCl_3(s)$$

ÖRNEK 4-15 Tepkenlerin Miktarlarının Tepkimenin Yüzde Verimine Göre Ayarlanması

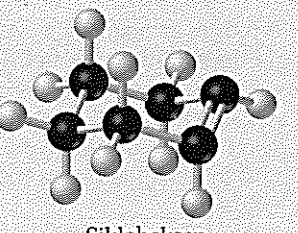
Sikloheksanol, $C_6H_{11}OH$, sülfürik veya fosforik asit ile ısıtıldığı zaman, sikloheksene, C_6H_{10} dönüşür. Sikloheksanol ve sikloheksenin top-çubuk modelleri yanda gösterilmiştir. Tepkimenin denkleştirilmiş kimyasal eşitliği aşağıda vermektedir.



Sikloheksanol

$$C_6H_{11}OH(s) \longrightarrow C_6H_{10}(s) + H_2O(s) \qquad (4.7)$$

Bu tepkimenin yüzde verimi % 83 olduğuna göre, 25 g sikloheksen elde etmek için ne kadar sikloheksanol kullanmak gerekir?



Sikloheksen

Analiz

C_6H_{10} nun yüzde verimi (%83) ve gerçek verimi (25 g) olarak verilmiştir. C_6H_{10} nun kuramsal verimini hesaplamak için eşitlik (4.6) yı kullanabiliriz. Sonra, aşağıdaki birim çevirme serisini kullanarak C_6H_{10} nun kuramsal verimini bulmak için gerekli $C_6H_{11}OH$ miktarını hesaplayabiliriz.

$$g\ C_6H_{10} \longrightarrow mol\ C_6H_{10} \longrightarrow mol\ C_6H_{11}OH \longrightarrow g\ C_6H_{11}OH$$

Çözüm

Basamaklı yaklaşım yöntemini kullanınız.

Eşitlik (4.6) yı yeniden düzenleyiniz ve kuramsal verimi hesaplayınız.

$$\text{Kuramsal verim} = \frac{25\ g \times 100\%}{83\%} = 3{,}0 \times 10^1\ g$$

Kuramsal verim, hesaplanan sonuçta iki anlamlı rakam olduğunu belirtmek için 30 g dan ziyade $3{,}0 \times 10^1$ g olarak yazılmıştır. Eğer sonuç 30 olarak verilirse, anlamlı rakamların sayısı belirsiz olacaktır (Kesim 1-7 ye bakınız). Diğer dönüşümler aşağıdaki gibidir.

C_6H_{10} mol kütlesini kullanarak, g C_6H_{10} değerini mol C_6H_{10} miktarına dönüştürünüz.

$$?\ mol\ C_6H_{10} = 3{,}0 \times 10^1\ g\ C_6H_{10} \times \frac{1\ mol\ C_6H_{10}}{82{,}1\ g\ C_6H_{10}} = 0{,}37\ mol\ C_6H_{10}$$

Stokiyometrik faktör yardımıyla, mol C_6H_{10} değerini, mol $C_6H_{11}OH$ miktarına dönüştürünüz.

$$?\ mol\ C_6H_{11}OH = 0{,}37\ mol\ C_6H_{10} \times \frac{1\ mol\ C_6H_{11}OH}{1\ mol\ C_6H_{10}} = 0{,}37\ mol\ C_6H_{11}OH$$

$C_6H_{11}OH$ mol kütlesini kullanarak, mol $C_6H_{11}OH$ değerini g $C_6H_{11}OH$ miktarına dönüştürünüz.

$$?\ g\ C_6H_{11}OH = 0{,}37\ mol\ C_6H_{11}OH \times \frac{100{,}2\ g\ C_6H_{11}OH}{1\ mol\ C_6H_{11}OH} = 37\ g\ C_6H_{11}OH$$

Çizgisel hesaplama yapmak için son üç adımı birleştirebilirdik. $3{,}0 \times 10^1$ g C_6H_{10} kuramsal verimden başlayan çizgisel hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

$$?\ g\ C_6H_{11}OH = 30\ g\ C_6H_{10} \times \frac{1\ mol\ C_6H_{10}}{82{,}1\ g\ C_6H_{10}} \times \frac{1\ mol\ C_6H_{11}OH}{1\ mol\ C_6H_{10}} \times \frac{100{,}2\ g\ C_6H_{11}OH}{1\ mol\ C_6H_{11}OH} = 37\ g\ C_6H_{11}OH$$

Değerlendirme

C_6H_{10} ve $C_6H_{11}OH$ mol kütleleri bilindiğine göre, yuvarlatılan rakamlar kullanarak problemi ters yönde çözebiliriz. $C_6H_{11}OH$ ın 37 g lık örneği yaklaşık 37/100 = 0,37 mol $C_6H_{11}OH$ içerir. Bu değer, maksimum 0,37 mol C_6H_{10} veya $0{,}37 \times 82 \approx 30$ g C_6H_{10} değerine karşılık gelir. Oysa gerçekte sadece 25 g C_6H_{10} elde edilir. Bu nedenle deneyin kuramsal verimi yaklaşık (25/30) × % 100 = % 83 dür. Problem ters yönde çözüldüğünde yüzde verim % 83 bulunur. O halde problemin çözümü doğrudur.

ALIŞTIRMA A: Örnek 4-14 de oluşan ürenin yüzde verimi %87,5 ise, 50,0 g $CO(NH_2)_2$ elde etmek için, aşırı NH_3 ile tepkimeye giren CO_2 kütlesini hesaplayınız?

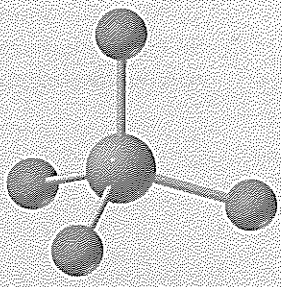
ALIŞTIRMA B: % 92,3 saflıkta sikloheksanolden % 86,2 verimle, (4.7) de verilen tepkime denklemine göre, 45,0 g sikloheksen elde etmek için gerekli olan sikloheksanolun ($C_6H_{11}OH$) kütlesini hesaplayınız.

re **ardışık tepkimeler** denir. Eğer iki ya da daha çok madde, aynı zamanda, oluşan farklı tepkimelerle birbirlerinden bağımsız olarak tepkimeye girerlerse, bu tepkimelere **eşzamanlı tepkimeler** adı verilir.

Örnek 4-16 iki ardışık tepkime ile gerçekleştirilen endüstriyel bir işlemi gösterir. Hesaplama için izlenen yol, her bir tepkime için stokiyometrik faktörü kullanmaktır. Örnek 4-17, yaygın bir ürün olan hidrojen gazını

ÖRNEK 4-16 Ardışık Tepkimelerle Oluşan Ürün Miktarının Hesaplanması

Titan dioksit, TiO_2, boyalarda beyaz renk verici bir madde olarak çok kullanılır. Bu boya genellikle, çevre için zararlı kurşun içeren, renk vericilerin yerini almaktadır. Ancak, doğal TiO_2 kullanılmadan önce renkli safsızlıklardan kurtarılmalıdır. Bir yöntemde, safsızlık içeren $TiO_2(k)$, gaz halindeki $TiCl_4(g)$ bileşiğine dönüştürülür, sonra tekrar saf katı $TiO_2(k)$ bileşiğine çevrilir. Yöntem, aşağıdaki tepkimeler üzerine kurulu olup, ilk önce $TiCl_4$ oluşur.



Titanyum

$$2\,TiO_2\,(\text{saf değil}) + 3\,C(k) + 4\,Cl_2(g) \longrightarrow 2\,TiCl_4(g) + CO_2(g) + 2\,CO(g)$$

$$TiCl_4(g) + O_2(g) \longrightarrow TiO_2(k) + 2\,Cl_2(g)$$

Bu yöntemle 1,00 kg saf $TiO_2(k)$ elde etmek için kullanılacak karbonun kütlesi nedir?

Analiz

Bu hesaplamada, TiO_2 ürününden başlanıp geriye doğru işlem yapılarak, tepkenlerden biri olan C(k) elementine ulaşılabilir. Gerekli dönüşümler şunlardır:

$$\text{kg } TiO_2 \longrightarrow \text{g } TiO_2 \longrightarrow \text{mol } TiO_2 \xrightarrow{\text{(a)}} \text{mol } TiCl_4 \xrightarrow{\text{(b)}} \text{mol C} \longrightarrow \text{g C}$$

Öncelikle ikinci tepkimeye göre TiO_2 mol sayısından $TiCl_4$ mol sayısı bulunur. Daha sonra, birinci tepkimeye göre $TiCl_4$ mol sayısından C mol sayısı hesaplanır.

Çözüm

Basamaklı yaklaşım yöntemi kullanarak aşağıdaki gibi ilerleriz.

kg TiO_2 kütlesini, g TiO_2 kütlesine, ve sonra TiO_2 mol kütlesini kullanarak TiO_2 molüne dönüştürünüz.

$$?\,\text{mol } TiO_2 = 1{,}00\,\text{kg } TiO_2 \times \frac{1000\,\text{g } TiO_2}{1\,\text{kg } TiO_2} \times \frac{1\,\text{mol } TiO_2}{79{,}88\,\text{g } TiO_2} = 12{,}5\,\text{mol } TiO_2$$

İkinci tepkimedeki stokiyometrik faktörü kullanarak TiO_2 mol sayısını $TiCl_4$ mol sayısına dönüştürünüz.

$$?\,\text{mol } TiCl_4 = 12{,}5\,\text{mol } TiO_2 \times \underbrace{\frac{1\,\text{mol } TiCl_4}{1\,\text{mol } TiO_2}}_{\text{(a)}} = 12{,}5\,\text{mol } TiCl_4$$

Birinci tepkimedeki stokiyometrik faktörü kullanarak $TiCl_4$ mol sayısını C'nun mol sayısına dönüştürünüz.

$$?\,\text{mol C} = 12{,}5\,\text{mol } TiCl_4 \times \underbrace{\frac{3\,\text{mol C}}{2\,\text{mol } TiCl_4}}_{\text{(b)}} = 18{,}8\,\text{mol C}$$

C'nun mol kütlesini kullanarak, C mol sayısını C gramına dönüştürünüz.

$$?\,\text{g C} = 18{,}8\,\text{mol C} \times \frac{12{,}01\,\text{g C}}{1\,\text{mol C}} = 226\,\text{g C}$$

Yukarıda verilen dönüşümler aşağıda gösterildiği gibi çizgisel halde yazılabilir.

$$?\,\text{g C} = 1{,}00\,\text{kg } TiO_2 \times \frac{1000\,\text{g } TiO_2}{1\,\text{kg } TiO_2} \times \frac{1\,\text{mol } TiO_2}{79{,}88\,\text{g } TiO_2} \times \overset{\text{(a)}}{\frac{1\,\text{mol } TiCl_4}{1\,\text{mol } TiO_2}} \times \overset{\text{(b)}}{\frac{3\,\text{mol C}}{2\,\text{mol } TiCl_4}} \times \frac{12{,}01\,\text{g C}}{1\,\text{mol C}} = 226\,\text{g C}$$

Değerlendirme

TiO_2 mol sayısından C mol sayısına geçmek için gerekli stokiyometrik faktörü aşağıdaki gibi elde edebiliriz. İki tepkime eşitliğinden, 3 mol C nun 2 mol $TiCl_4$ vereceği ve sonra eşit miktarda (2 mol) TiO_2 oluşturmak üzere tepkimeye gireceği görülmektedir. Yani 3 mol C, 2 mol TiO_2 verecektir ya da eşdeğer olarak 2 mol TiO_2, 3 mol C ile tepkimeye girecektir. Bu nedenle, gerekli stokiyometrik faktör (3 mol C)/(2 mol TiO_2) a ve b olarak gösterilen yukarıdaki iki faktörün çarpımıdır.

(devam ediyor)

ALIŞTIRMA A: Nitrik asit, HNO_3, amonyak ve oksijenden aşağıda verilen ardışık tepkimelere göre üretilir.

$$4\,NH_3(g)+5\,O_2(g) \longrightarrow 4\,NO(g)+6\,H_2O(g)$$
$$2\,NO(g)+O_2(g) \longrightarrow 2\,NO_2(g)$$
$$3\,NO_2(g)+H_2O(s) \longrightarrow 2\,HNO_3(suda)+NO(g)$$

Üçüncü basamakta oluşan NO(g) nun tekrar çevrime girmediğini düşünerek, 1,00 kg $NH_3(g)$ dan kaç gram nitrik asit elde edileceğini bulunuz.

ALIŞTIRMA B: Azot gazı otomobil hava yastıklarını şişirmek için kullanılır. Gaz, NaN_3, KNO_3 ve SiO_2 (hepsi katı) içeren bir peletin patlaması ile açığa çıkar. Patlama ile NaN_3 bileşiği $N_2(g)$ ve Na(s)'a ayrışır. Na(s) ise anında KNO_3 ile tepkimeye girere ve $N_2(g)$, K_2O ve Na_2O oluşturur. K_2O ve Na_2O ayrı ayrı SiO_2 ile tepkimeye girdiğinde zararsız tuzları olan, K_2SiO_3 ve Na_2SiO_3 bileşiklerie dönüşür. Tepkimeler için denkleştirilmiş kimyasal eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$2\,NaN_3(k) \longrightarrow 3\,N_2(g)+2\,Na(s)$$
$$10\,Na(s)+2\,KNO_3(k) \longrightarrow N_2(k)+K_2O(k)+5\,Na_2O(k)$$
$$K_2O(k)+SiO_2(k) \longrightarrow K_2SiO_3(k)$$
$$Na_2O(k)+SiO_2(k) \longrightarrow Na_2SiO_3(k)$$

Karışım patlatıldığı zaman geride kalması istenmeyen Na, Na_2O ve K_2O olmaması için, 95 g NaN_3 ile karıştırılan KNO_3 ve SiO_2 bileşiklerinin minimum kütleleri nedir?

ÖRNEK 4-17 Eşzamanlı Gerçekleşen Tepkimelerden Elde edilen Bir Maddenin Miktarının Hesaplanması

Magnezyum-alüminyum alaşımları, uçak yapımında yaygın olarak kullanılır. Böyle bir alaşım kütlece % 70,0 Al ve % 30,0 Mg içermektedir. Bu alaşımın 0,710 gramı ile HCl(suda) aşırısı arasında tepkime gerçekleştirildiğinde, kaç gram $H_2(g)$ elde edilir, hesaplayınız? Oluşan tepkimeler için denkleştirilmiş kimyasal eşitlikler aşağıda verilmişitr.

$$2\,Al(k)+6\,HCl(suda) \longrightarrow 2\,AlCl_3(suda)+3\,H_2(g)$$
$$Mg(k)+2\,HCl(suda) \longrightarrow MgCl_2(suda)+H_2(g)$$

Analiz

Yukarda verilen iki tepkime eşzamanlı gerçekleşen tepkimelerdir. Eşzamanlı tepkimeler bağımsız olarak gerçekleşirler. Aşağıdaki, iki birim çevirme yolunu da dikkate alırız:

(1) g alaşım $\longrightarrow$ g Al $\longrightarrow$ mol Al $\xrightarrow{(a)}$ mol H_2;

(2) g alaşım $\longrightarrow$ g Mg $\longrightarrow$ mol Mg $\xrightarrow{(b)}$ mol H_2;

(1) ve (2) yolları, sırası ile birinci ve ikinci tepkimeler üzerine kuruludur. Oluşan H_2 gazının toplam miktarı, her bir tepkime sonucu elde edilen miktarlar toplanarak elde edilir. Al'un molünden H_2'nin molüne dönüştürme (a) ile gösterilen bir stokiyometrik faktör gerektirir. Mg'un molünden H_2'nin molüne dönüştürme (b) ile gösterilen farklı bir stokiyometrik faktör gerektirir.

Çözüm

Kütlece yüzdeleri ve Al ile Mg'un mol kütlelerini kullanarak, g alaşımı mol Al'a ve yine g alaşımı mol Mg'a çeviriniz.

$$?\,mol\,Al = 0{,}710\,g\,alaşım \times \frac{70{,}0\,g\,Al}{100{,}0\,g\,alaşım} \times \frac{1\,mol\,Al}{26{,}98\,g\,Al}$$
$$= 0{,}0184\,mol\,Al$$

$$?\,mol\,Mg = 0{,}710\,g\,alaşım \times \frac{30{,}0\,g\,Mg}{100{,}0\,g\,alaşım} \times \frac{1\,mol\,Mg}{24{,}31\,g\,Mg}$$
$$= 8{,}76 \times 10^{-3}\,mol\,Mg$$

Stokiyometrik faktör (a) ve (b) yi kullanarak Al'un mol sayısını H_2 in mol sayısına ve Mg'un mol sayısını yine H_2'in mol sayısına dönüştürünüz. H_2 nin toplam mol sayısı iki bağımsız tepkimeden elde edilen hidrojenlerin mol sayıları toplamıdır.

$$? \text{ mol } H_2 = 0{,}0184 \text{ mol Al} \times \underbrace{\frac{3 \text{ mol } H_2}{2 \text{ mol Al}}}_{\text{(a)}} +$$

$$8{,}76 \times 10^{-3} \text{ mol Mg} \times \underbrace{\frac{1 \text{ mol } H_2}{1 \text{ mol Mg}}}_{\text{(b)}} = 0{,}0364 \text{ mol } H_2$$

Dönüşüm faktörü olarak H_2 nin mol kütlesini kullanılarak, H_2 in mol sayısını g H_2 gazına dönüştürünüz.

$$? \text{ g } H_2 = 0{,}0364 \text{ mol } H_2 \times \frac{2{,}016 \text{ g } H_2}{1 \text{ mol } H_2} = 0{,}0734 \text{ g } H_2$$

Diğer bir seçenek, adımları tek bir çizgide birleştirmektir.

$$? \text{ g } H_2 = \left(0{,}710 \text{ g alaşım} \times \frac{70{,}0 \text{ g Al}}{100{,}0 \text{ g alaşım}} \times \frac{1 \text{ mol Al}}{26{,}98 \text{ g Al}} \times \underbrace{\frac{3 \text{ mol } H_2}{2 \text{ mol Al}}}_{\text{(a)}} \times \frac{2{,}016 \text{ g } H_2}{1 \text{ mol } H_2}\right)$$

$$+ \left(0{,}710 \text{ g alaşım} \times \frac{30{,}0 \text{ g Mg}}{100{,}0 \text{ g alaşım}} \times \frac{1 \text{ mol Mg}}{24{,}31 \text{ g Mg}} \times \underbrace{\frac{1 \text{ mol } H_2}{1 \text{ mol Mg}}}_{\text{(b)}} \times \frac{2{,}016 \text{ g } H_2}{1 \text{ mol } H_2}\right) = 0{,}0734 \text{ g } H_2$$

Değerlendirme

Bu örnekte, alaşımın bileşimi verilmekte ve buradan oluşan H_2 nin miktarını çözmekteyiz. Tersi sorulduğunda, yani oluşan H_2 nin miktarı verilir ve alaşımdaki Al ve Mg un miktarlarının belirlenmesi istenirse, çözümü biraz daha az zordur. Bunun için aşağıdaki Alıştırma A ve B ye bakınız.

ALIŞTIRMA A: 1,00 g lık magnezyum-aluminyum alaşımı aşırı HCl(suda) ile tepkimeye girdiği zaman 0,107 g H_2 veriyor. Alaşımdaki Al'un kütlece yüzdesi nedir? [*İpucu:* Bu soru Örnek 4-17 nin tersidir. Bu problemi çözmek için Al ve Mg un kütlelerini sırası ile m ve 1,00–m alınız. Sonra, elde edilen H_2 nin toplam kütlesini m'ye bağlayan bir denklem kurunuz ve m değerini elde ediniz.]

ALIŞTIRMA B: Sadece Cu_2O ve CuO içeren bir karışımın 1,500 g lık örneği hidrojenle tepkimeye sokuluyor ve bakır metali ile su oluşturuluyor. Su buharlaştırıldıktan sonra, 1,2244 g saf bakır metali geri kazanılıyor. Başlangıç karışımındaki Cu_2O in kütlece yüzdesi nedir? Denkleştirilmiş kimyasal eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$CuO(k) + H_2(g) \longrightarrow Cu(k) + H_2O(s)$$
$$Cu_2O(k) + H_2(g) \longrightarrow 2\,Cu(k) + H_2O(s)$$

4-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki tepkimelerin herbirinin % 90 verimle oluştuğunu varsayalım.

$$CH_4(g) + Cl_2(g) \longrightarrow CH_3Cl(g) + HCl(g)$$
$$CH_3Cl(g) + Cl_2(g) \longrightarrow CH_2Cl_2(s) + HCl(g)$$

İlk tepkimede 50,0 g CH_4 ve aşırı Cl_2 ile başlandığında, ikinci tepkimede oluşan CH_2Cl_2 nin gram olarak kütlesi aşağıdakilerden hangisidir?

(a) $50{,}0 \times 0{,}81 \times (85/16)$ (c) $50{,}0 \times 0{,}90 \times 0{,}90$
(b) $50{,}0 \times 0{,}90$ (d) $50{,}0 \times 0{,}90 \times 0{,}90 \times (16/50{,}5)(70{,}9/85)$

Genellikle, *ardışık* kimyasal tepkimeler **toplam tepkimeyi** temsil eden tek bir net tepkime halinde birleştirilebilir. Net tepkimenin eşitliğine **net eşitlik** ya da toplam eşitlik adı verilir. Soru çözümlerinde her bir eşitliği tek tek kullanmak yerine, çoğu zaman net eşitliği kullanabiliriz. Ancak, il-

▶ Ardışık tepkimeler, net tepkime eşitliği elde etmek için toplanabildiği halde, eşzamanlı tepkimeler toplanamaz. Örnek 4-17'deki iki eşitlik birleştirilirse 2 Al + Mg + 8 HCl → 2 $AlCl_3$ + $MgCl_2$ + 4H_2 eşitliği elde edilir. Bu eşitliğin doğru olmadığı açıktır. Çünkü bu örnek, H_2'nin açığa çıkması için tepkime karışımında hem Al hem de Mg'un birlikte bulunması gerektiği izlenimini vermektedir. Oysa herbir metal bağımsız olarak HCl ile tepkimeye girip H_2 oluşturabilir.

gilenilen bileşik, başlangıç maddesi ya da elde edilecek olan son ürün değil de ara tepkimelerin birinde ortaya çıkan bir bileşik ise, bu birleştirme yöntemi uygulanamaz. Çok basamaklı bir tepkimenin bir basamağında üretilip diğer basamağında tüketilen herhangi bir bileşiğe **ara ürün** adı verilir. Örnek 4-16 da $TiCl_4(g)$ bir ara üründür.

Örnek 4-16 da net eşitliği yazmak için, ikinci eşitlik iki ile çarpılıp birinci eşitlik ile toplanır. Sonra net eşitliğin her iki tarafında bulunan maddeler birbirini götürür.

$$2\,TiO_2\text{ (saf değil)} + 3\,C(s) + 4\,Cl_2(g) \longrightarrow 2\,TiCl_4(g) + CO_2(g) + 2\,CO(g)$$
$$2\,TiCl_4(g) + 2\,O_2(g) \longrightarrow 2\,TiO_2(s) + 4\,Cl_2(g)$$
$$\textit{Net eşitlik:}\quad 3\,C(s) + 2\,O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2\,CO(g)$$

Bu sonuca göre, (1) ikinci tepkimeden elde edilen TiO_2 birinci tepkimede tüketilen kadar olmalıdır, (2) ikinci tepkimede oluşan $Cl_2(g)$, birinci tepkimede yeniden çevrime katılmaktadır ve (3) net eşitlikte gerçekten tüketilen maddeler, C(k) ve $O_2(g)$ olmaktadır. Ayrıca, $TiO_2(k)$ net eşitlikte görünmediğinden, Örnek 4-16 daki hesaplamada net eşitlik kullanılamaz.

MasteringCHEMISTRY **www.masteringchemistry.com**

Her gün tonlarca kimyasal madde ya doğrudan harcanmak ya da diğer maddelerin sentezinde kullanılmak üzere sentezlenmektedir. Bu kimyasal maddeler gıdadan ilaçlara kadar pek çok alanda kullanıldığından, yüksek verim ve saflıkta elde edilmeleri önemlidir. Bir kimya üretim tesisini kurarken ve işletirken kimyacıların ve mühendislerin göz önüne almaları gereken daha birçok etmeni öğrenmek için bakınız. Focus On feature for chapter 4, Industrial Chemistry, on the MasteringChemistry site.

Özet

4-1 Kimyasal Tepkimeler ve Kimyasal Eşitlikler—**Kimyasal tepkimeler** bir ya da daha çok başlangıç maddesinden **(tepkenler)** yine bir ya da daha çok yeni maddenin **(ürünlerin)** oluştuğu işlemlerdir. Kimyasal tepkime, bir **kimyasal eşitlikte** solda tepkenlerin sağda ürünlerin formülleri ile simgesel olarak gösterilebilir. Tepken ve ürünler bir ok ile ayrılır. Bu eşitlikler denkleştirilmiş olmalıdır. **Denkleştirilmiş eşitlik** tepken ve ürünler arasındaki nicel ilişkiyi yansıtır. Aynı tür atomların, eşitliğin her iki tarafında da aynı sayıda olması demek olan denkleştirme işlemi, **stokiyometrik katsayılar** yerdeğiştirilerek gerçekleştirilir. Tepken ve ürünlerin fiziksel halleri sırası ile katı, sıvı, gaz ve sulu çözelti anlamınd (k), (s), (g), ve (suda) gibi simgelerle gösterilebilir.

4-2 Kimyasal Eşitlikler ve Stokiyometri—**Stokiyometri**, atom ve molekül kütleleri, kimyasal formüller, denkleştirilmiş kimyasal eşitlikler ve ilgili maddeler arasındaki nicel ilişkilerden oluşur. Kimyasal tepkimelerin stokiyometrisinde, **stokiyometrik faktör** (Şekil 4-3) olarak adlandırılan ve denkleştirilmiş kimyasal eşitliklerden elde edilen dönüşüm faktörü kullanılır. Stokiyometrik hesaplamalar genellikle diğer faktörlerle birlikte mol kütlelerini, yoğunlukları ve yüzde bileşimleri gerektirir.

4-3 Çözeltide Kimyasal Tepkimeler—Çözelti **molaritesi,** bir çözeltinin litresinde **çözünmüş maddenin** mol miktarıdır (tanım 4.3). Molarite, çözelti hacmi ve çözünenin miktarı arasında bir dönüşüm faktörü olarak alınabilir. Molarite, dönüşüm faktörü olarak; tek tek çözeltilere, fazladan **çözücü** ilavesi ile seyreltilmiş çözeltilere, çözelti karışımlarına ve çözeltide oluşan tepkimelere uygulanabilir (Şekil 4-6; tanım 4.5).

4-4 Sınırlayıcı Bileşenin Belirlenmesi—Bazı tepkimelerde bir tepken tamamen tükenirken diğer tepkenler artabilir. Tam olarak tükenen tepken, oluşan ürünün miktarını belirler ve **sınırlayıcı bileşen** olarak adlandırılır. Bazı tepkimelerde tepkenlerin hepsi aynı anda tüketilir ve hiçbir tepken artmaz. Bu durumda tepkenlerin **stokiyometrik oranlarda** olduğu söylenir. Bazı tepkimelerde sınırlayıcı tepkenin, stokiyometrik hesaplama tamamlanmadan önce belirlenmesi gerekir.

4-5 Tepkime Stokiyometrisinde Diğer Konular—Stokiyometrik hesaplamalar bazen tepkimenin **gerçek verimi, yan ürünlerin** varlığı ve tepkimenin ya da tepkimelerin nasıl ilerlediği gibi ilave faktörleri içerir. Örneğin, bazı tepkimeler hesaplanan ürünün tam olarak miktarını, yani **kuramsal verimi** verir. Gerçek verim, kuramsal verime eşit olduğu zaman **yüzde verim,** % 100 dür. Bazı tepkimelerde gerçek verim, kuramsal verimden düşüktür. Bu durumda gerçek verim % 100 den daha azdır. Verimin düşüklüğü, yan ürünlerin oluşmasından ileri gelebilir.

Yan ürünler, **yan tepkimeler** olarak adlandırılan tepkimelerden kaynaklanır. Bazı stokiyometrik hesaplamalar iki veya daha çok **eşzamanlı tepkime** oluşmasından dolayı karmaşıktır. Yine son ürün, bir seri ardışık tepkimeler ile oluşabilir. Bir tepkimenin ürünü ve takip eden bir tepkimenin ise tepkeni olan herhangi bir maddeye **ara ürün** denir. Bir seri ardışık tepkime net, bir tepkimeyle ve ardışık tepkimelerin eşitlikleri net bir eşitlikle eşitlikle ifade edilir.

Pekiştirici Örnek

Sodyum nitrit kumaş boyaları üretiminde, tekstil ipliklerini beyazlatmakta, et ürünlerinin korunmasında (gıda zehirlenmesini önlemek için) ve fotoğrafçılıkta kullanılan bir bileşiktir. Sodyum nitrit sulu sodyum karbonat çözeltisinden azot monoksit ve oksijen gazları geçirilerek elde edilir. Tepkimenin diğer bir ürünü karbon dioksit gazıdır.

225 mL 1,50 M sulu sodyum karbonat içinden 22,1 g azot monoksit ve aşırı miktarda O_2 gazı geçiriliyor ve % 95 verimle sodyum nitrit elde ediliyor. Oluşan sodyum nitrit'in kütlesini hesaplayınız.

Analiz

Bu problemde yapılması gereken beş işlem var. (1) Tepken ve ürün adlarının formüllerle gösterildiği kimyasal bir eşitlik yazınız. (2) Yazdığınız eşitliği denkleştiriniz. (3) Sınırlayıcı bileşeni belirleyiniz. (4) Sınırlayıcı bileşenin miktarına bağlı olarak, sodyum nitritin kuramsal verimini hesaplayınız. (5) Tanım (4.6) yı kullanarak sodyum nitritin gerçek verimini hesaplayınız.

Çözüm

Denkleştirilmemiş eşitliği elde ediniz: Bahsedilen kimyasal maddelerin adları yerine formüllerini yazınız.

$$Na_2CO_3(suda) + NO(g) + O_2(g) \longrightarrow NaNO_2(suda) + CO(g)$$

Denkleştirilmiş eşitliği elde ediniz: 1 mol Na_2CO_3 tan 2 mol $NaNO_2$ elde edildiğini düşünerek başlayınız.

$$Na_2CO_3(suda) + NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,NaNO_2(suda) + CO_2(g)$$

N atomlarını denkleştirmek için sol tarafa 2 mol NO yazılmalıdır.

$$Na_2CO_3(suda) + 2\,NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,NaNO_2(suda) + CO_2(g)$$

O atomlarını denkleştirmek için sol tarafta 1/2 mol O_2 gereklidir. Eşitliğin her iki tarafındaki O atomlarının sayısı altıdır.

$$Na_2CO_3(suda) + 2\,NO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow 2\,NaNO_2(suda) + CO_2(g)$$

Denkleştirilmiş son eşitlikte kesirli sayıları tam sayı yapmak için her iki taraf 2 katsayısı ile çarpılmalıdır.

$$2\,Na_2CO_3(suda) + 4\,NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 4\,NaNO_2(suda) + 2\,CO_2(g)$$

Sınırlayıcı bileşeni belirleme: Problem oksijenin aşırı olduğunu ifade ediyor. O halde sınırlayıcı bileşeni belirlemek için Na_2CO_3 mol sayısı ve NO mol sayısından yararlanılır.

$$?\ \text{mol } Na_2CO_3 = 0{,}225\ \text{L çöz.} \times \frac{1{,}50\ \text{mol } Na_2CO_3}{1\ \text{L çöz.}} = 0{,}338\ \text{mol } Na_2CO_3$$

$$?\ \text{mol NO} = 22{,}1\ \text{g NO} \times \frac{1\ \text{mol NO}}{30{,}01\ \text{g NO}} = 0{,}736\ \text{mol NO}$$

Denkleştirilmiş eşitlikten, stokiyometrik mol oranı

$$4\ \text{mol NO} : 2\ \text{mol } Na_2CO_3 = 2:1$$

Mevcut mol oranı

$$0{,}736\ \text{mol NO} : 0{,}338\ \text{mol } Na_2CO_3 = 2{,}18:1$$

Mevcut mol oranı 2:1'i aştığı için, NO aşırı miktardadır ve Na_2CO_3 sınırlayıcı bileşendir.

$$?\ \text{g } NaNO_2 = 0{,}338\ \text{mol } Na_2CO_3 \times \frac{4\ \text{mol } NaNO_2}{2\ \text{mol } Na_2CO_3} \times \frac{69{,}00\ \text{g } NaNO_2}{1\ \text{mol } NaNO_2} = 46{,}6\ \text{g } NaNO_2$$

Tepkimenin kuramsal verimini belirleyiniz: Bu hesaplama sınırlayıcı bileşen olan Na_2CO_3 miktarı üzerine kurulur.

Gerçek verimi belirleyiniz: Yüzde verim (% 95), kuramsal verim (46,6 g $NaNO_2$) ve gerçek verimi içeren tanım (4.6) yı kullanınız.

$$\text{gerçek verim} = \frac{\text{yüzde verim} \times \text{kurumsal verim}}{100\%} = \frac{95{,}0\% \times 46{,}6\ \text{g } NaNO_2}{100\%} = 44{,}3\ \text{g } NaNO_2$$

Değerlendirme

Çok adımlı bir problemi çözdükten sonra, doğruluğunu kontrol etmek önemlidir. Bu örnekte öncelikle kimyasal eşitliğin denkleştirilmiş olduğu kontrol edilmelidir. Eşitliğin her iki tarafında 4 Na, 2 C, 12 O ve 4 N vardır. Sınırlayıcı bileşenin doğru olarak belirlendiği farklı bir yaklaşımla kontrol edilebilir. 0,338 mol Na_2CO_3 , 0,676 mol $NaNO_2$ verdiği (aşırı NO ve O_2 varlığında) ve 0,736 mol NO, 0,736 mol $NaNO_2$ verdiği için (aşırı Na_2CO_3 ve O_2 nin varlığında), Na_2CO_3 sınırlayıcı bileşendir; *sınırlayıcı bileşen elde edilen ürünün miktarını sınırlayan bileşendir.* Elde edilen $NaNO_2$ kütlesinin hesabında birimlerin kontrol edilmesi önemlidir. Son basamağı kontrol etmek için, en son cevabımızı deneyin yüzde verimini hesaplamakta kullanabiliriz: (44,3/46,6) × % 100 = % 95. Bu, yüzde verim için doğru sonuçtur.

ALIŞTIRMA A: Hekzametilendiamin, $C_6H_{16}N_2$ molekül formülüne sahiptir. Naylon üretiminde başlangıç maddelerinden biridir. Bu madde aşağıdaki tepkime ile sentezlenebilir:

$$C_6H_{10}O_4(s) + NH_3(g) + H_2(g) \longrightarrow C_6H_{16}N_2(s) + H_2O(k) \text{ (denkleştirilmemiş)}$$

Büyük bir tepkime kabı 4,15 kg $C_6H_{10}O_4$ bileşiği 0,547 kg NH_3 ve 0,172 kg H_2 içermektedir. Eğer, bu tepkime sonucunda 1,46 kg $C_6H_{16}N_2$ elde edilirse, yüzde verim nedir?

ALIŞTIRMA B: Çinko metali ile sulu hidroklorik asit, [HCl(suda)] tepkimeye girdiğinde hidrojen gazı [H_2(g)] ve sulu çinko klorür [$ZnCl_2$(suda)] oluşur. *Saf olmayan* 0,400 g çinko örneği 750,0 L 0,0179 M HCl ile tam olarak tepkimeye girer. Tepkime sonrası HCl çözeltisinin molaritesi, 0,00403 M dır. Örnekteki çinkonun kütlece yüzdesi nedir?

MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, konu ile ilgili ilave deneme soruları bulabilirsiniz.

Alıştırmalar

Kimyasal Eşitliklerin Yazılması ve Denkleştirilmesi

1. Aşağıdaki eşitlikleri sınama-yanılma yoluyla denkleştiriniz.
   (a) $SO_3 \longrightarrow SO_2 + O_2$
   (b) $Cl_2O_7 + H_2O \longrightarrow HClO_4$
   (c) $NO_2 + H_2O \longrightarrow HNO_3 + NO$
   (d) $PCl_3 + H_2O \longrightarrow H_3PO_3 + HCl$

2. Aşağıdaki eşitlikleri sınama–yanılma yoluyla denkleştiriniz.
   (a) $P_2H_4 \longrightarrow PH_3 + P_4$
   (b) $P_4 + Cl_2 \longrightarrow PCl_3$
   (c) $FeCl_3 + H_2S \longrightarrow Fe_2S_3 + HCl$
   (d) $Mg_3N_2 + H_2O \longrightarrow Mg(OH)_2 + NH_3$

3. Aşağıdaki eşitlikleri sınama–yanılma yolu ile denkleştiriniz.
   (a) $PbO + NH_3 \longrightarrow Pb + N_2 + H_2O$
   (b) $FeSO_4 \longrightarrow Fe_2O_3 + SO_2 + O_2$
   (c) $S_2Cl_2 + NH_3 \longrightarrow N_4S_4 + NH_4Cl + S_8$
   (d) $C_3H_7CHOHCH(C_2H_5)CH_2OH + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$

4. Aşağıdaki eşitlikleri sınama–yanılma yolu ile denkleştiriniz.
   (a) $SO_2Cl_2 + HI \longrightarrow H_2S + H_2O + HCl + I_2$
   (b) $FeTiO_3 + H_2SO_4 + H_2O \longrightarrow FeSO_4 \cdot 7\,H_2O + TiOSO_4$
   (c) $Fe_3O_4 + HCl + Cl_2 \longrightarrow FeCl_3 + H_2O + O_2$
   (d) $C_6H_5CH_2SSCH_2C_6H_5 + O_2 \longrightarrow CO_2 + SO_2 + H_2O$

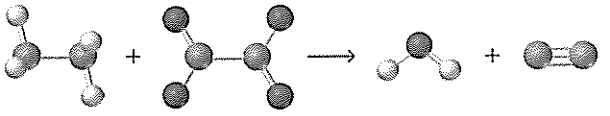
5. Aşağıda verilen bilgileri kullanarak denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız.
   (a) katı mağnezyum + oksijen gazı ⟶ katı mağnezyum oksit
   (b) azot monoksit gazı + oksijen gazı ⟶ azot dioksit gazı
   (c) gaz etan (C_2H_6) + oksijen gazı ⟶ karbon dioksit gazı + sıvı su
   (d) sulu gümüş sülfat + sulu baryum iyodür ⟶ katı baryum sülfat + katı gümüş iyodür

6. Aşağıda verilen bilgileri kullanarak denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız.
   (a) katı mağnezyum + azot gazı ⟶ katı mağnezyum nitrür
   (b) katı potasyum klorat ⟶ katı potasyum klorür + oksijen gazı
   (c) katı sodyum hidroksit + katı amonyum klorür ⟶ katı sodyum klorür + gaz halinde amonyak + Su buharı
   (d) katı sodyum + sıvı su ⟶ sulu sodyum hidroksit + hidrojen gazı

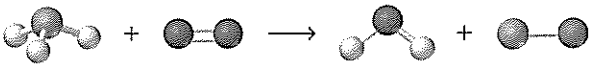
7. Aşağıdaki bileşiklerin aşırı oksijen ile tam yanmasını gösteren denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız. (a) butan, C_4H_{10}; (b) izopropil alkol, $CH_3CH(OH)CH_3$; (c) laktik asit, $CH_3CH(OH)COOH$.

8. Aşağıdaki bileşiklerin aşırı oksijen ile tam yanmasını gösteren denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız.
   (a) propilen, C_3H_6 (b) tiyobenzoik asit, C_6H_5COSH
   (c) gliserin, $CH_2(OH)CH(OH)CH_2OH$.

9. Aşağıdaki tepkimelerin denkleştirilmiş eşitliklerini yazınız.
(a) katı amonyum nitratın ısı etkisinde diazot monoksit gazı (güldürücü gaz) ve su buharı vermek üzere ayrışması
(b) sulu sodyum karbonatın hidroklorik asit ile su, karbon dioksit gazı ve sulu sodyum klorür vermesi
(c) metan (CH_4), amonyak ve oksijen gazlarının hidrojen siyanür gazı ve su buharı oluşturması.
10. Aşağıdaki tepkimeleri gösteren denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız.
(a) kükürt dioksit gazının oksijen gazı ile etkileşerek kükürt trioksit gazı vermesi (endüstride sülfürik asit eldesinde gerçekleştirilen tepkimelerden biri)
(b) kireç taşının (kalsiyum karbonat), çözünmüş karbon dioksit içeren suda çözünerek kalsiyum hidrojen karbonat (yeraltı sularında geçici sertliğe neden olan tepkime) vermesi
(c) amonyağın azot monoksitle tepkimeye girerek azot gazı ve su buharı vermesi.
11. Aşağıda çizimi verilen tepkimenin denkleştirilmiş kimyasal eşitliğini yazınız.



12. Aşağıda çizimi verilen tepkimenin denkleştirilmiş kimyasal eşitliğini yazınız.



Kimyasal Tepkimelerin Stokiyometrisi

13. Bir deneyde 0,689 g Cr(k) ile 0,636 g O_2(g) tam olarak tepkimeye girer ve katı bir bileşik oluşturur. Tepkime için denkleştirilmiş bir kimyasal eşitlik yazınız.
14. 3,104 g lık bir mangan oksit örneği 1,142 g oksijen içerir. Bu bileşiğin Mn(k) ve O_2(g) den oluşumunu gösteren denkleştirilmiş bir kimyasal eşitliği yazınız.
15. Demir metali klor gazı ile tepkimeye girer. 515 g Cl_2 aşırı Fe ile tepkimeye girdiği zaman kaç g $FeCl_3$ elde edilir?

$$2\ Fe(k) + 3\ Cl_2(g) \longrightarrow 2\ FeCl_3(k)$$

16. Aşağıdaki tepkime ile 46,3 g PCl_3 oluşursa, tüketilen Cl_2 ve P_4 ün herbiri kaç gramdır?

$$6\ Cl_2(g) + P_4(s) \longrightarrow 4\ PCl_3(s)$$

17. Laboratuvarda O_2(g), $KClO_3$(k) ın bozunmasından elde edilir.

$$2\ KClO_3(k) \xrightarrow{\Delta} 2\ KCl(k) + 3\ O_2(g)$$

(a) 32,8 g $KClO_3$ ın bozunmasından kaç mol O_2(g) elde edilir?
(b) 50,0 g O_2 elde etmek için kaç gram $KClO_3$ bozunmalıdır?
(c) $KClO_3$ ın bozunmasından 28,3 g O_2 elde edilirse, kaç gram KCl elde edilir?
18. Hidrojen üretiminde ticari bir yöntem demir ve su buharının tepkimesini içerir.

$$3\ Fe(k) + 4\ H_2O(g) \xrightarrow{\Delta} Fe_3O_4(k) + 4\ H_2(g)$$

(a) 42,7 g Fe ve H_2O(g) nun (buhar) aşırısından kaç mol H_2(g) elde edilebilir?
(b) 63,5 g Fe, Fe_3O_4'e dönüştürüldüğünde kaç gram H_2O tüketilir?
(c) 14,8 g H_2 oluşması için kaç gram Fe_3O_4 oluşması gerekir?
19. Aşağıdaki tepkimeden 75,1 g Ag elde etmek için kaç gram Ag_2CO_3 bozunmalıdır?

$$Ag_2CO_3(k) \xrightarrow{\Delta}$$
$$Ag(k)+CO_2(g)+O_2(g)\ \text{(denkleştirilmemiş)}$$

20. Aşağıdaki tepkimeye göre 125 kg $Ca(H_2PO_4)_2$ elde etmek için kaç kg HNO_3 kullanılmalıdır?

$$Ca_3(PO_4)_2+HNO_3 \longrightarrow$$
$$Ca(H_2PO_4)_2+Ca(NO_3)_2\ \text{(denkleştirilmemiş)}$$

21. Kalsiyum hidrürün su ile tepkimesi küçük miktarlarda hidrojen gazı elde etmek için kullanılabilir. Hava gözlem balonlarını doldurmak için de aynı tepkime kullanılır.

$$CaH_2(k) + H_2O(s) \longrightarrow$$
$$Ca(OH)_2(k) + H_2(g)\ \text{(denkleştirilmemiş)}$$

(a) 127 g CaH_2 ve suyun aşırısı ile tepkimesinden kaç g H_2(g) elde edilir?
(b) 56,2 g CaH_2 tepkimesinde kaç g su tüketilir?
(c) $8{,}12\times 10^{24}$ molekül H_2 oluşturmak için suyun aşırısı ile kaç g CaH_2 (k) tepkime vermelidir?
22. Potasyum süperoksit, (KO_2), ile CO_2 tepkimesi, yaşam destek sistemlerinde solunmuş havadaki CO_2 den O_2(g) sağlamak için kulanılır. Tepkime için denkleştirilmemiş kimyasal eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$KO_2(k) + CO_2(g) \longrightarrow K_2CO_3(k) + O_2(g)$$

(a) 156 g CO_2(g) in aşırısı ile KO_2(k) tepkimesinden kaç mol O_2(g) oluşur?
(b) Havadan uzaklaştırılan 100,0 g CO_2(g) için kaç g KO_2(k) tüketilir?
(c) Tüketilen KO_2'in 1 miligramına karşılık kaç molekül O_2 oluşur?
23. Demir cevheri saf olmayan Fe_2O_3 demektir. Fe_2O_3 karbonun (kok) aşırısı ile ısıtıldığında, demir metali ve karbon monoksit gazı elde edilir. 938 kg'lık bir cevher örneğinden 523 kg saf demir elde ediliyor. Safsızlıkların hiçbirinin Fe içermediğini varsayarak, cevher örneğindeki kütlece % Fe_2O_3'i hesaplayınız?
24. Katı gümüş oksit, Ag_2O(k), 300 °C ın üstünde metalik gümüş ve oksijen gazı vermek üzere parçalanır. Safsızlık içeren 3,13 g lık bir gümüş oksit örneğinden 0,187 g O_2(g) elde ediliyor. O_2(g) nin kaynağının yalnızca Ag_2O(k) olduğunu düşünerek, örnekteki Ag_2O yüzdesinin ne olduğunu bulunuz? [*İpucu:* Oluşan tepkime için denkleştirilmiş bir eşitlik yazınız.]

25. Dekaboran ($B_{10}H_{14}$) 1950 lerde roketler için yakıt olarak kullanılmıştır. $B_{10}H_{14}$ oksijenle, (O_2) çok şiddetli bir tepkime vererek B_2O_3 ve su oluşturur. $B_{10}H_{14}$ ve O_2 nin aynı zamanda tükenmesini sağlamak için tasarlanan bir yakıt karışımında $B_{10}H_{14}$ ün kütlece yüzdesini hesaplayınız (Böyle bir karışım roketin taşımak zorunda olduğu yakıtın kütlesini minimuma indirir).
26. 26 Temmuz 2005 de fırlatılan uzay mekiği *Discovery* nin roket motorlarında başlıca, katı amonyum perklorat, $NH_4ClO_4(k)$ ve aluminyum metali içeren bir yakıt karışımı kullanılmıştır. Tepkime için denkleştirilmemiş kimyasal eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$Al(k) + NH_4ClO_4(k) \longrightarrow Al_2O_3(k) + AlCl_3(k) + H_2O(s) + N_2(g)$$

$NH_4ClO_4(k)$ ve Al tepkimesinden, 1 kg Al için tüketilen NH_4ClO_4'ın en az kütlesi nedir? [*İpucu:* Elementleri Cl, H, O, Al, N sırasında denkleştiriniz].

27. 10,25 cm × 5,50 cm × 0,601 mm boyutlarında bir alüminyum parçası, HCl(suda) çözeltisinin aşırısında çözülüyor. Oluşan $H_2(g)$ nin kütlesi nedir? Alüminyumun yoğunluğunu 2,70 g/cm^3 alınız ve denklem (4.2) yi kullanınız.
28. Bir aluminyum yaprağının aşırısı, yoğunluğu 1,088 g/mL olan ve kütlece % 18,0 HCl içeren 225 mL lik sulu HCl çözeltisi ile tepkimeye sokuluyor. Oluşan $H_2(g)$ in kütlesi nedir? [*İpucu*: (4.2) eşitliğini kullanınız].
29. *Ayrıntılı hesaplamalar yapmaksızın*, aşağıdaki metallerden hangisinin 1 gramı, HCl(suda) ile tepkime verdiğinde en yüksek $H_2(g)$ miktarını oluşturur, belirleyiniz? (a) Na, (b) Mg, (c) Al, (d) Zn. [*İpucu:* (4.2)'ye benzer eşitlikler yazınız].
30. *Ayrıntılı hesaplamalar yapmaksızın*, aşağıdakilerden hangisinin aşırı oksijen ile yandığında, gram başına etanol, CH_3CH_2OH, ile aynı miktarda $CO_2(g)$ verdiğini belirleyiniz? (a) H_2CO; (b) $HOCH_2CH_2OH$; (c) $HOCH_2CHOHCH_2OH$; (d) CH_3OCH_3; (e) C_6H_5OH.

Molarite

31. Aşağıdaki sulu çözeltilerin molariteleri kaçtır?
(a) 7,16 L çözeltide 2,92 mol CH_3OH çözünüyor.
(b) 50,00 mL çözeltide 7,69 mmol CH_3CH_2OH çözünüyor.
(c) 275 mL çözeltide 25,2 g $CO(NH_2)_2$ çözünüyor.
32. Aşağıdaki sulu çözeltilerin molariteleri nedir?
(a) 125 mL çözeltide $2,25\times10^{-4}$ mol CH_3CH_2OH çözünüyor.
(b) 525 mL çözeltide 57,5 g $(CH_3)_2CO$ çözünüyor.
(c) 375 mL çözeltide 18,5 mL $C_3H_5(OH)_3$ (d= 1,26 g/mL) çözünüyor.
33. Aşağıdaki çözeltilerin molaritelerini hesaplayınız?
(a) 250,0 mL sulu çözeltide çözünmüş 150,0 g çay şekeri (sakkaroz, $C_{12}H_{22}O_{11}$).
(b) % 97,9 saflıkta 98,3 mg katı üre nin, $CO(NH_2)_2$, suda çözünmesi ile oluşan 5,00 mL çözelti,
(c) 125,0 mL metanol, CH_3OH (d = 0,792 g / mL), yeterince suda çözünerek 15,0 L ye tamamlandığında oluşan çözelti.
34. Aşağıdaki çözeltilerin molaritelerini hesaplayınız.
(a) 0,405 g aspartik asit ($H_2C_4H_5NO_4$) yeterince suda çözülerek 100,0 mL çözelti oluşturuluyor.
(b) 35,0 mL asetonun, C_3H_6O, (d = 0,790 g/mL) yeterince suda çözülerek 425 mL ye tamamlandığında oluşan çözelti.
(c) 8,8 mg dietil eterin, $(C_2H_5)_2O$, yeterli suda çözülmesiyle elde edilen 3,00 L lik çözelti.
35. **(a)** 0,350 M 75,0 mL glukoz, $C_6H_{12}O_6$ çözeltisi hazırlamak için kaç gram glukoz suda çözülmelidir?
(b) 2,25 L 0,485 M methanol,CH_3OH, çözeltisi hazırlamak için kaç mL CH_3OH (d = 0,792 g/mL) gereklidir?
36. **(a)** 200,0 L 1,65 M etanol, CH_3CH_2OH (d = 0,789 g/mL), çözeltisi hazırlamak için kaç litre CH_3CH_2OH suda çözülmelidir?
(b) 12,0 L 0,234 M HCl çözeltisi hazırlamak için kaç mililitre derişik hidroklorik asit (kütlece % 36,0 HCl, d = 1,18 g/mL) çözeltisi gerekir?
37. Amerika Birleşik Devletlerinde kandaki glikozun,$C_6H_{12}O_6$,derişimi miligram/desilitre (mg /dL) olarak verilir. Kanada, İngiltere ve başka bir yerde kandaki glikoz derişimi milimol/litre (mmol/L) olarak verilir. 1 mmol = 1×10^{-3} mol dür. Şayet bir kişi 85 mg/dL'lik kan, glikoz düzeyine sahipse, (a) mmol/L olarak kan glikoz düzeyi nedir? (b) kandaki glikozun molaritesi nedir?
38. Çoğu toplumda, diş çürümesini engellemek için su florlanır. Örneğin Amerika Birleşik Devletlerinde nüfusun yarısından çoğu yaklaşık 1mg F^-/litrelik florlanmış suyu kullanmaktadır. (a) Su 1,2 mg/litre F^- içeriyor ise, sudaki F^- nin molaritesi nedir? (b) 1,2 mg/litre F^- derişiminde olması için $1,6\times10^8$ L su deposuna kaç g katı KF eklenmelidir?
39. Aşağıdakilerden hangisi 0,500 M KCl çözeltisidir?
(a) 0,500 g KCl/ mL çözelti; (b) 36,0 g KCl/L çözelti; (c) 7,46 mg KCl /mL çözelti; (d) 10,00 L çözeltide 373 g KCl
40. Aşağıdakilerden hangileri aynı derişime sahip iki çözeltidir?
(a) 55,45 g NaCl/L çözelti; (b) 5,545 g NaCl/ 100 g çözelti; (c) 55,45 g NaCl /kg su; (d) 55,45 mg NaCl/1,00 mL çözelti; (e) 5,00 mmol NaCl/5,00 mL çözelti
41. Aşağıdakilerden hangisinde sakkaroz daha yüksek derişime sahiptir? Nedenini açıklayınız. Kütlece % 46 lık sakkaroz çözeltisi (d = 1,21 g/mL) ve 1,50 M $C_{12}H_{22}O_{11}$.
42. Aşağıdakilerden hangisi daha büyük etanol molaritesine sahiptir: Kütlece % 11 CH_3CH_2OH (d = 0,95 g/mL) içeren beyaz bir şarap mı? yoksa örnek 4-8 de tanımlanan çözelti mi? Nedenini açıklayınız.
43. 2,05 M 10,00 mL KNO_3 çözeltisi 250,0 mL lik bir hacme seyreltiliyor. Seyreltik çözeltinin derişimi nedir?
44. 250,0 mL 0,425 M $AgNO_3$ çözeltisi hazırlamak için 0,750 M $AgNO_3$ dan kaç mL alınıp su ile seyreltilmelidir?
45. 125 mL 0,198 M K_2SO_4 çözeltisinden, hacim 105 mL oluncaya kadar su buharlaştırılıyor. Geride kalan çözeltideki K_2SO_4 ın molaritesi nedir?

46. 25,0 mL HCl(suda) örneği 500,0 mL lik bir hacme seyreltiliyor. Seyreltik çözeltinin derişimi 0,085 M HCl olarak bulunmuş ise, orjinal çözeltinin derişimi nedir?
47. 0,250 M K_2CrO_4 stok çözeltisinden 0,0125 M K_2CrO_4 çözeltisini nasıl hazırlayacağınızı açıklayınız. Hangi pipet ve ölçülü balonu kullanacaksınız? Genel kimya laboratuvarında bulunan ölçülü balon boyutları 100,0, 250,0, 500,0 ve 1000,0 mL, pipetlerin hacimleri ise 1,00, 5,00, 10,00, 25,00 ve 50,00 mL dir.
48. 2 litre 0,496 M KCl çözeltisine sahipsiniz. Bu çözeltiyi kullanarak 250,0 mL 0,175 M KCl çözeltisini nasıl hazırlarsınız? Ayrıntıları belirtiniz ki, bir başka öğrenci de bu bilgileri kullanarak aynısını hazırlayabilsin.

Çözeltide Kimyasal Tepkimeler

49. $2\,AgNO_3(suda) + Na_2S(suda) \longrightarrow Ag_2S(k) + 2\,NaNO_3(suda)$
tepkimesini gözönüne alınız.
(a) 27,8 mL 0,163 M $AgNO_3$ çözeltisi ile tam olarak tepkimeye girecek olan $Na_2S(k)$ kaç gramdır?
(b) (a) şıkkında verilen tepkimeden kaç gram $Ag_2S(k)$ elde edilir?
50. 525 mL 0,220 M $Cu(NO_3)_2$'a aşırı $NaHCO_3$ ekleniyor. Bu maddeler aşağıdaki gibi tepkimeye girer.

$$Cu(NO_3)_2(suda) + 2\,NaHCO_3(k) \longrightarrow CuCO_3(k) + 2\,NaNO_3(suda) + H_2O(s) + CO_2(g)$$

(a) Kaç g $NaHCO_3(k)$ harcanır?
(b) Kaç g $CuCO_3(k)$ oluşur?
51. 415 mL 0,186 M $AgNO_3$ çözeltisindeki gümüşün tamamını Ag_2CrO_4 şeklinde çöktürmek için 0,650 M K_2CrO_4 dan kaç mililitre gereklidir?

$$2\,AgNO_3(suda) + K_2CrO_4(suda) \longrightarrow Ag_2CrO_4(k) + 2\,KNO_3(suda)$$

52. $Ca(OH)_2(k) + 2\,HCl(suda) \longrightarrow CaCl_2(suda) + 2\,H_2O(s)$
tepkimesini gözönüne alınız.
(a) 415 mL 0,477 M HCl çözeltisi ile tam olarak tepkimeye girebilecek olan $Ca(OH)_2$ kaç gramdır?
(b) Kütlece %24,28 HCl içeren ve yoğunluğu 1,12 g/mL olan bir HCl çözeltisinin 324 L sini tepkimeye sokmak için kaç kg $Ca(OH)_2$ gereklidir?
53. HNO_3 çözeltisinden tam olarak 1,00 mL alınıp 100 mL ye seyreltiliyor. Bu HNO_3 çözeltisinin tamamını $Ca(NO_3)_2$'a dönüştürmek için 29,78 mL 0,0142 M $Ca(OH)_2$ gerekiyor. Tepkimenin diğer ürünü sudur. Seyreltilmemiş HNO_3 çözeltisinin molaritesini hesaplayınız.
54. Na_2HPO_4 sulu çözeltisinin 5,00 mL sini tamamen Na_3PO_4'a dönüştürmek için 49,1 mL 0,217 M NaOH gereklidir. Tepkimenin diğer ürünü sudur. Na_2HPO_4 çözeltisinin molaritesini hesaplayınız.
55. Örnek 4-7 ve denklem (4.2) yi gözönüne alınız. Örnek 4-7 de ifade edilen koşullarda, *(a)* $AlCl_3$ ün mol sayısını bulunuz ve (b) örnekte hesaplandığı gibi çözelti hacmi 23,8 mL ise, $AlCl_3(suda)$ molaritesi nedir?

Sınırlayıcı Bileşenin Belirlenmesi

63. 3,00 mol $NH_3(g)$ ve 4,00 mol $O_2(g)$ nin tepkimesinden kaç mol NO(g) elde edilebilir?

$$4\,NH_3(g) + 5\,O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 4\,NO(g) + 6\,H_2O(s)$$

56. Sayfa 139 daki özetleyici örneği gözönüne alınız. 1,42 L sulu çözeltide bulunan 138 g Na_2CO_3 bileşiği, NO(g) ve $O_2(g)$ nin aşırısı ile etkileştirilirse, sonuçta oluşan $NaNO_2(suda)$ çözeltisinin molaritesi ne olur? (Tepkimenin tamamlandığını varsayınız).
57. Alıştırma 51 deki 415 mL 0,186 M $AgNO_3$ çözeltisine aşırı $K_2CrO_4(suda)$ eklenirse kaç g $Ag_2CrO_4(k)$ çöker?
58. Aşağıdaki tepkimeye göre 9,13 g KI bileşiğini I_2 ye dönüştürmek için 0,0797 M $KMnO_4$ çözeltisinden kaç mL gereklidir? H_2SO_4'ün aşırı miktarda olduğunu varsayınız.

$$2\,KMnO_4 + 10\,KI + 8\,H_2SO_4 \longrightarrow 6\,K_2SO_4 + 2\,MnSO_4 + 5\,I_2 + 8\,H_2O$$

59. 0,175 M NaOH çözeltisi elde etmek için 155 mL su ile kaç gram sodyum tepkimeye girmelidir? (Son çözeltinin hacmını 155 mL varsayınız)

$$2\,Na(k) + 2\,H_2O(s) \longrightarrow 2\,NaOH(suda) + H_2(g)$$

60. HCl(suda) çözeltisinin derişimini azaltma yöntemlerinden biri, bu çözeltiyi küçük bir Mg parçası ile tepkimeye sokmaktır.

$$Mg(k) + 2\,HCl(suda) \longrightarrow MgCl_2(suda) + H_2(g)$$

250,0 mL 1,023 M HCl çözeltisinin derişimini tam olarak 1,000 M HCl'ye düşürmek için kaç miligram Mg kullanılmalıdır?
61. Aşağıdaki tepkimenin tamamlanması için, 0,3126 g okzalik asit ($H_2C_2O_4$) örneği ile 26,21 mL NaOH(suda) çözeltisinin tepkimeye girmesi gerekiyor. NaOH(suda) çözeltisinin molaritesi nedir?

$$H_2C_2O_4(k) + 2\,NaOH(suda) \longrightarrow Na_2C_2O_4(suda) + 2\,H_2O(s)$$

62. 0,1000 g $CaCO_3(k)$ örneğine 25,00 mL HCl çözeltisi ilave ediliyor: $CaCO_3(k)$ bileşiğinin tamamı tepkimeye girdikten sonra bir miktar HCl(suda) artıyor.

$$CaCO_3(k) + 2\,HCl(suda) \longrightarrow CaCl_2(suda) + H_2O(s) + CO_2(g)$$

Fazla HCl(suda) aşağıdaki tepkimeye göre, 43,82 mL 0,01185 M $Ba(OH)_2$ çözeltisi ile tepkime veriyor. Başlangıçtaki HCl(suda) in molaritesi nedir?

$$2\,HCl(suda) + Ba(OH)_2(suda) \longrightarrow BaCl_2(suda) + 2\,H_2O(s)$$

64. Kalsiyum hidrür ve su arasındaki tepkime kalsiyum hidroksit ve hidrojen oluşturur. 0,82 mol $CaH_2(k)$ ve 1,54 mol $H_2O(s)$ arasındaki tepkime ile kaç mol $H_2(g)$ oluşur?

65. 0,696 mol Cu örneği 136 mL 6,0 M HNO_3 çözeltisine ilave ediliyor. Aşağıdaki tepkime dikkate alındığında Cu'ın tamamı tepkimeye girer mi?

$$3\,Cu(k) + 8\,HNO_3(suda) \longrightarrow 3\,Cu(NO_3)_2(suda) + 4\,H_2O(s) + 2\,NO(g)$$

66. 75,0 mL 2,95 M HCl ile 1,84 g Al un tepkimesinden kaç g $H_2(g)$ oluşur? [İpucu: Denklem (4.2) yi hatırlayınız].

67. Odun hamurundan rayon üretiminde aşağıda verilen yan tepkime meydana gelir.

$$3\,CS_2 + 6\,NaOH \longrightarrow 2\,Na_2CS_3 + Na_2CO_3 + 3\,H_2O$$

2,78 mol NaOH ve 92,5 mL sıvı CS_2 (d= 1,26 g/mL) tepkimesinden oluşacak olan Na_2CS_3 kaç gramdır?

68. Litopon, su bazlı iç boyamalarda kullanılan parlak beyaz bir boyadır. Aşağıdaki tepkimeye göre oluşan $BaSO_4$ ve ZnS karışımıdır.

$$BaS(suda) + ZnSO_4(suda) \longrightarrow \underset{\text{litopon}}{ZnS(k) + BaSO_4(k)}$$

315 mL 0,275 M $ZnSO_4$ ve 285 mL 0,315 M BaS ün tepkimesinden kaç gram litopon elde edilir?

69. Katı NH_4Cl ve $Ca(OH)_2$ in birlikte ısıtılmasından NH_3 oluşturulabilir. Bu arada $CaCl_2$ ve H_2O meydana gelir. **(a)** Herbirinden 33,0 g olan NH_4Cl ve $Ca(OH)_2$ karışımı ısıtılırsa, kaç gram NH_3 oluşur? **(b)** Hangi tepkenden kaç gram artar?

70. Klor, hidroklorik asit ve kalsiyum hipokloritin birlikte ısıtılmasından elde edilebilir. Tepkimede, kalsiyum klorür ve su da oluşur. **(a)** 50,0 g $Ca(OCl)_2$ ve 275 mL 6,00 M HCl tepkimeye girerse kaç gram klor gazı meydana gelir? **(b)** $Ca(OCl)_2$ ya da HCl den hangisi artar? Artan madde kaç gramdır?

71. Krom(II) sülfat, $CrSO_4$, moleküllerdeki karbon-karbon ikili bağlarının (C═C), tek bağlara (C—C) indirgenmesinde kullanılan yardımcı bir reaktiftir. Reaktif aşağıdaki tepkimeye göre hazırlanabilir.

$$4\,Zn(k) + K_2Cr_2O_7(suda) + 7\,H_2SO_4(suda) \longrightarrow 4\,ZnSO_4(suda) + 2\,CrSO_4(suda) + K_2SO_4(suda) + 7H_2O(s)$$

3,2 mol Zn, 1,7 mol $K_2Cr_2O_7$ ve 5,0 mol H_2SO_4 içeren bir tepkime karışımından elde edilen $CrSO_4$ ın maksimum kütlesi nedir?

72. Titanyum tetraklorür, $TiCl_4$, aşağıdaki tepkime ile hazırlanır.

$$3\,TiO_2(k) + 4\,C(k) + 6\,Cl_2(g) \longrightarrow 3\,TiCl_4(g) + 2\,CO_2(g) + 2\,CO(g)$$

35 g TiO_2, 45 g Cl_2, ve 11 g C dan elde edilen $TiCl_4$ ün maksimum kütlesi nedir?

Kuramsal, Gerçek ve Yüzde Verimler

73. 277 g CCl_4 bileşiğinin aşırı HF ile tepkimesinden 187 g CCl_2F_2 elde ediliyor. Bu tepkimenin (a) kuramsal, (b) gerçek, ve (c) yüzde verimleri nedir?

$$CCl_4 + 2\,HF \longrightarrow CCl_2F_2 + 2\,HCl$$

74. Aşağıdaki tepkimede 100,0 g $C_6H_{11}OH$, 64,0 g C_6H_{10} vermektedir. **(a)** Tepkimenin kuramsal verimi nedir? **(b)** Yüzde verim nedir? **(c)** (b) de yüzde verim belirlenmiş ise, 100,0 g C_6H_{10} elde etmek için gerekli $C_6H_{11}OH$ bileşiğinin kütlesi nedir?

$$C_6H_{11}OH \longrightarrow C_6H_{10} + H_2O$$

75. Kriyolit, Na_3AlF_6, önemli bir endüstriyel maddedir. Aşağıdaki tepkime ile elde edilir.

$$Al_2O_3(k) + 6\,NaOH(suda) + 12\,HF(g) \longrightarrow 2\,Na_3AlF_6(k) + 9\,H_2O(s)$$

Bir deneyde 7,81 g Al_2O_3 ve aşırı HF(g) bileşikleri 0,141 M NaOH çözeltisinin 3,50 L sinde çözüldüğünde 28,2 g Na_3AlF_6 elde edilirse, yüzde verim nedir?

76. Azot gazı (N_2) yüksek sıcaklıklarda katı bakır(II) oksit (CuO) üzerinden amonyak gazı geçirilerek hazırlanabilir. Tepkimenin diğer ürünleri katı bakır (Cu) ve su buharıdır. Yapılan bir deneyde 18,1 g NH_3 ve 90,4 g CuO içeren bir tepkime karışımı 6,63 g N_2 vermiştir. Bu deney için yüzde verimi hesaplayınız.

77. Aşağıdaki tepkimeye göre, 15,0 g C_4H_9OH, 22,4 g NaBr ve 32,7 g H_2SO_4 den 17,1 g C_4H_9Br elde ediliyor.

$$C_4H_9OH + NaBr + H_2SO_4 \longrightarrow C_4H_9Br + NaHSO_4 + H_2O$$

Bu tepkimenin **(a)** kuramsal verimi **(b)** gerçek verimi ve **(c)** yüzde verimi nedir?

78. Boya üretiminde ara ürün olan azobenzen bileşiği, Zn ve KOH, varlığında trietilen glikol ve nitrobenzenden elde edilebilir. Bir tepkimede 0,10 L nitrobenzen (d = 1,20 g/mL) ve 0,30 L trietilen glikol (d = 1,12 g/mL) den 55 g azobenzen oluşmaktadır. Bu tepkimenin **(a)** kuramsal verimi, **(b)** gerçek verimi, ve **(c)** yüzde verimi nedir?

$$\underset{\text{nitrobenzen}}{2\,C_6H_5NO_2} + \underset{\text{trietilen glikol}}{4\,C_6H_{14}O_4} \xrightarrow[KOH]{Zn} \underset{\text{azobenzen}}{(C_6H_5N)_2} + 4\,C_6H_{12}O_4 + 4\,H_2O$$

79. % 78,2 verimle 75 g asetil klorür (CH_3COCl) elde etmek için, PCl_3 bileşiğinin, aşırısı ile kaç gram ticari asetik asit (kütlece %97 CH_3COOH) tepkimeye girmelidir?

$$CH_3COOH + PCl_3 \longrightarrow C_2H_3OCl + H_3PO_3 \text{ (denkleştirilmemiş)}$$

80. Aşağıdaki **(a)** ve **(b)** tepkimelerinin her birinin %92 verime sahip olduğunu varsayınız.

(a) $CH_4 + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + HCl$

(b) $CH_3Cl + Cl_2 \longrightarrow CH_2Cl_2 + HCl$

Tepkime **(a)** da 112 g CH_4 ile $Cl_2(g)$ nin aşırısı ile başladığında, tepkime **(b)** de kaç gram CH_2Cl_2 oluşur?

81. Bir bileşiği *analiz* etmek için kullanılan bir kimyasal tepkimenin veriminin %100 olması esastır. Fakat bir bileşiği *sentezlemek için kullanılan bir tepkime için* bu asla beklenemez. Bunun nedenini açıklayınız.

82. Örnek 4-11 de tanımlanan $Ag_2CrO_4(k)$ bileşiğini çöktürdüğünüzü varsayınız. 2,058 g çökelek elde edersek, hemen hemen saf $Ag_2CrO_4(k)$ olduğunu iddia edebiliriz. Fakat 2,112 g elde edersek, çökeleğin saf olmadığından emin olabiliriz. Bu farkı açıklayınız.

Ardışık Tepkimeler, Eşzamanlı Tepkimeler

83. Kütlece %64,8 $Mg(OH)_2$ ve %35,2 $MgCO_3$ içeren 425 g lık bir karışımın tepkimesinde kaç gram HCl kullanmak gerekir?
$Mg(OH)_2 + 2\,HCl \longrightarrow MgCl_2 + 2\,H_2O$
$MgCO_3 + 2\,HCl \longrightarrow$
$MgCl_2 + H_2O + CO_2(g)$

84. Tüp gaz, kütlece %72,7 propan (C_3H_8) ve %27,3 bütandan (C_4H_{10}) oluşur. Bu gaz karışımının 406 gramının tam yanmasından kaç gram $CO_2(g)$ elde edilir?

85. Eskiden soğutucu olarak yaygın şekilde kullanılan diklordiflormetan aşağıdaki tepkimelerle elde edilebilir. İkinci tepkimeden 2,25 kg CCl_2F_2 elde etmek için, birinci tepkimede kaç mol Cl_2 tüketilmelidir? Birinci tepkimeden oluşan tüm CCl_4 bileşiğinin, ikinci tepkimede harcandığını varsayınız.
$CH_4 + Cl_2 \longrightarrow CCl_4 + HCl$ (denkleştirilmedi)
$CCl_4 + HF \longrightarrow CCl_2F_2 + HCl$ (denkleştirilmedi)

86. Etanın yanmasından oluşan $CO_2(g)$ gazı, $Ba(OH)_2$ çözeltisinden geçirilerek 0,506 g $BaCO_3(k)$ çöktürülür. Yanan etanın (C_2H_6) kütlesi kaç gram olmalıdır?
$C_2H_6(g) + O_2(g) \longrightarrow$
$CO_2(g) + H_2O(s)$ (denkleştirilmedi)
$CO_2(g) + Ba(OH)_2(suda) \longrightarrow BaCO_3(k) + H_2O(s)$

87. Kaliforniya'da deniz suyundan iyot elde etmek için aşağıdaki yöntem uygulanmıştır.
sodyum iyodür + gümüş nitrat ⟶ gümüş iyodür + sodyum nitrat
gümüş iyodür + demir ⟶ demir(II) iyodür + gümüş
demir(II) iyodür + klor gazı ⟶ demir(III) klorür + katı iyot
Üçüncü basamakta bir kilogram iyot elde etmek için birinci basamakta kaç kilogram gümüş nitrat gereklidir?

88. Sodyum bromür, fotoğrafçılıkta kullanılan AgBr ün elde edilmesinde kullanılır ve aşağıda verilen tepkimelere göre üretilir. $2{,}50 \times 10^3$ kg NaBr elde etmek için kaç kg Fe harcanır?
$Fe + Br_2 \longrightarrow FeBr_2$
$FeBr_2 + Br_2 \longrightarrow Fe_3Br_8$ (denkleştirilmedi)
$Fe_3Br_8 + Na_2CO_3 \longrightarrow$
$NaBr + CO_2 + Fe_3O_4$ (denkleştirilmedi)

89. Yüksek saflıktaki silisyum üç adımlı işlem kullanılarak elde edilir. Birinci adım, katı silisyum dioksidin, SiO_2, katı C ile katı silisyum ve karbon monoksit gazı vermek üzere ısıtılmasını içerir. İkinci adımda katı silisyum, klor gazı ile etkileştirilerek sıvı silisyum tetraklorür'e dönüştürülür. Son adımda $SiCl_4$, hidrojen gazı ile tepkimeye sokularak çok saf katı silisyum ve hidrojen klorür gazı elde edilir.
(a) Üç adımın da denkleştirilmiş kimyasal eşitliğini yazınız.
(b) 1 kilogram silisyum için gerekli karbon, klor ve hidrojenin kütlelerini hesaplayınız.

90. Aşağıdaki tepkimeler nitrik asit (HNO_3) üretim yöntemi olarak kullanılır. 1 kilogram HNO_3 elde etmek için gerekli N_2, H_2 ve O_2 nin minimum kütlelerini hesaplayınız.
$N_2(g) + 3\,H_2(g) \longrightarrow 2\,NH_3(g)$
$4\,NH_3(g) + 5\,O_2(g) \longrightarrow 4\,NO(g) + 6\,H_2O(g)$
$2\,NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,NO_2(g)$
$3\,NO_2(g) + H_2O(s) \longrightarrow 2\,HNO_3(suda) + NO(g)$

91. Katı $MgCO_3$ ve $CaCO_3$ karışımı ısıtıldığı zaman karbon dioksit gazı açığa çıkar ve katı MgO ve CaO karışımı elde edilir. Şayet 24,00 g $MgCO_3$ ve $CaCO_3$ karışımı 12,00 g CO_2 açığa çıkarırsa, karışımdaki $MgCO_3$ ın kütlece yüzdesi nedir?

92. Fe_2O_3 ve FeO karışımı analiz ediliyor ve kütlece % 72 Fe olarak bulunuyor. Karışımdaki Fe_2O_3 bileşiğinin kütlece yüzdesi nedir?

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

93. Aşağıdaki tepkimelerin kimyasal eşitliklerini yazınız.
(a) Kireç taşının (kalsiyum karbonat), ısıtılıp (kalsinasyon) kalsiyum oksit ve karbon dioksit gazı vermek üzere bozunması.
(b) Çinko sülfür cevherinin havada ısıtılıp (kavurma işlemi) çinko oksit ve kükürt dioksit gazına dönüştürülmesi (havadaki oksijen gazının tepkimeye girdiğine dikkat ediniz).
(c) Propan gazının karbon monoksit gazı ve hidrojen gazı karışımı vermek üzere, gaz halindeki su ile etkileştirilmesi (Bu karışıma *sentez gazı* adı verilir ve pek çok değişik organik kimyasal maddelerin üretilmesi için kullanılır).
(d) Kükürt dioksit gazının sodyum sülfür ve sodyum karbonat içeren sulu çözeltiden geçirilmesi. Tepkime ürünleri sulu sodyum tiyosülfat çözeltisi ve karbon dioksittir.

94. Aşağıdaki tepkimelerin kimyasal eşitliklerini yazınız.
(a) Kalsiyum fosfat, silisyum dioksit ve karbon ile ısıtılıyor ve kalsiyum silikat ($CaSiO_3$), fosfor (P_4) ve karbon monoksit elde ediliyor. Bu fosfor ile klor etkileştiriliyor ve fosfor triklorür oluşuyor. Fosfor triklorür de su ile fosforöz aside dönüştürülüyor.
(b) Bakır metali oksijen gazı, karbon dioksit ve su ile tepkimeye girerek bazik yeşil bakır karbonat, $Cu_2(OH)_2CO_3$, oluşturur (bir bahçe kapısındaki bronz heykel üzerindeki tabaka veya yeşil küf oluşumundan sorumlu tepkime.)
(c) Beyaz fosfor ve oksijen gazı tepkimeye girerek tetrafosfor dekoksit verir. Tetrafosfor dekoksit su ile etkileşerek fosforik asidin sulu çözeltisini oluşturur.
(d) Kalsiyum dihidrojen fosfat, sodyum hidrojen karbonatla (bikarbonat) tepkimeye girerek kalsiyum fosfat, sodyum hidrojen fosfat, karbon dioksit ve su verir. (kabartma tozu kekler, ekmekler ve bisküvilere ilave edildiği zaman oluşan temel tepkime).

95. 11 Nisan 1970 de uzaya fırlatılan *Apollo 13* içindeki üç astronot, 17 Nisan da dünyaya geri döndü. Astronotların uçuş süresince hayatta kalmalarına, havadan CO_2'i uzaklaştırmak için planlanan lityum hidroksit kutuları kısmen yardımcı oldu. Katı lityum hidroksit (LiOH) bileşiği $CO_2(g)$ ile katı lityum karbonat ve su vermek üzere tepkimeye girer. Bir astronotun günde yaklaşık 1,00 kg CO_2 açığa çıkardığını varsayarsak, altı günlük uçuş için üç üyelik ekip tarafından üretilen CO_2'i uzaklaştırmak için gerekli LiOH kütlesi nedir?

96. Tebeşir, çok az SiO_2 safsızlığı ile esas olarak kalsiyum karbonat ve kalsiyum sülfattan oluşur. Bunlardan sadece $CaCO_3$ seyreltik HCl (suda) ile tepkime verir. 3,28 g örnek 0,981 g $CO_2(g)$ verirse, bir parça tebeşirdeki $CaCO_3$ bileşiğinin kütlece yüzdesi nedir?

$$CaCO_3(k) + 2\ HCl(suda) \longrightarrow CaCl_2(suda) + H_2O(s) + CO_2(g)$$

97. 400 °C de $Fe_2O_3(k)$ üzerinden hidrojen gazı, H_2 (g), geçiriliyor. % 72,3 Fe ve % 27,7 O içeren siyah bir kalıntı ile birlikte su buharı oluşuyor. Bu tepkime için denkleştirilmiş bir eşitlik yazınız.

98. Kütlece % 36,5 S içeren bir demir sülfür, $O_2(g)$ içinde ısıtılıyor ve kütlece % 27,6 O içeren bir demir oksit ve kükürt dioksit oluşuyor. Bu tepkime için denkleştirilmiş bir kimyasal eşitlik yazınız.

99. Su ve etanol,$CH_3CH_2OH(s)$, her oranda karıştırılabilir. Bu sıvılar karıştırıldığı zaman elde edilen çözeltinin toplam hacmi, saf sıvı hacimlerinin toplamına eşit değildir. Yani, hacimler toplanabilir değildir. Örneğin, 50,0 mL su ve 50,0 mL $CH_3CH_2OH(s)$ 20 °C de karıştırıldığı zaman çözeltinin toplam hacmi 96,5 mL olur; 100,0 mL değil. (Hacimler toplanabilir değildir; çünkü su moleküllerinin etkileşimleri CH_3CH_2OH moleküllerinin etkileşimlerinden biraz farklıdır). 20°C de 50,0 mL su ve 50,0 mL CH_3CH_2OH (s) ün karıştırılması ile hazırlanan bir çözeltide CH_3CH_2OH ün molaritesini hesaplayınız. Bu sıcaklıkta su ve etanolün yoğunlukları sırası ile 0,99821g/mL ve 0,7893 g/mL dir.

100. Su ve metanol,$CH_3OH(s)$, karıştırıldığı zaman elde edilen çözeltinin toplam hacmi saf sıvı hacimlerinin toplamına eşit değildir. (Açıklama için Alıştırma 99 a bakınız.) 25°C de 72,061 g H_2O ve 192, 25 g CH_3OH karıştırıldığı zaman elde edilen çözeltinin yoğunluğu 0,86070 g/mL dir. 25°C de su ve metanolün yoğunlukları sırası ile 0,99705 g/mL ve 0,78706 g/mL dir.
(a) Saf sıvı numune hacimlerini ve çözelti numune hacmini hesaplayınız. Saf sıvı hacimlerinin toplanabilir olmadığını gösteriniz. [*İpucu:* Hacimlerin toplanabilir olmamasına karşın, kütleler toplanabilirdir.]
(b) Bu çözeltideki CH_3OH bileşiğinin molaritesini hesaplayınız.

101. 0,149 M HCl den kaç mL alınıp, $1,00 \times 10^2$ mL 0,285 M HCl çözeltisine eklenmelidir ki, elde edilen çözeltinin molaritesi 0,205 M olsun? Hacimlerin toplanabilir olduğunu varsayınız.

102. 0,0175 M CH_3OH den kaç mL alınıp 50,0 mL 0,0248 M CH_3OH çözeltisine ilave edilmelidir ki, elde edilen çözeltinin molaritesi tam olarak 0,0200 M olsun? Hacimlerin toplanabilir olduğunu varsayınız.

103. 1,52 ppm Na içeren bir çözeltide, NaCl(suda) ün molaritesi nedir? [Sodyumun sadece NaCl den geldiğini ve çözeltinin yoğunluğunun 1,00 g/mL olduğunu varsayınız. Milyonda bir kısım, *ppm*, birimi, milyon g çözelti başına g Na anlamındadır.)

104. 2,35 ppm Ca içeren bir çözeltinin 50,0 L sinde kaç miligram $Ca(NO_3)_2$ vardır? [*İpucu:* Alıştırma 103'e de bakınız].

105. İnce bir aluminyum tabaka üzerine 12,0 M HCl çözeltisinden bir damla (0,05 mL) damlatılıyor. Tüm asidin tepkime verdiğini ve aluminyum tabakayı çözüp deldiğini düşününüz. Oluşan boşluğun cm^2 olarak büyüklüğü ne olacaktır? (Al nin yoğunluğu 2,70 g/cm^3, tabakanın kalınlığı 0,10 mm).

$$2\ Al(k) + 6\ HCl(suda) \longrightarrow 2\ AlCl_3(suda) + 3\ H_2(g)$$

106. Küçük bir çinko parçası 50,00 mL 1,035 M HCl çözeltisinde çözülmüştür. Tepkime sonunda 50,00 mL lik örneğin derişimi yeniden tayin edilmiş ve 0,812 M HCl olduğu bulunmuştur. Çözünen çinko parçasının kütlesi nedir?

$$Zn(k) + 2\ HCl(suda) \longrightarrow ZnCl_2(suda) + H_2(g)$$

107. 2,37 mg N/mL içeren 1,00 L lik bir çözelti elde etmek için 0,715 M NH_4NO_3 çözeltisinden kaç mililitre alınıp su ile seyreltilmelidir?

108. Bir deniz suyu örneğinin, kütlece % 2,8 NaCl içerdiği ve yoğunluğunun 1,03 g/mL olduğu bulunmuştur. NaCl ün sudaki doymuş çözeltisi 5,45 M NaCl içerir. $1,00 \times 10^6$ L deniz suyundan NaCl çökmeye başlamadan, kaç litre suyu buharlaştırmak gerekir? (Doygun çözelti, maksimum miktarda çözünmüş çözünen içerir).

109. 99,8 mL lik bir çözelti kütlece %12,0 KI içermekte olup, yoğunluğu 1,093 g/mL dir. Bu çözelti, kütlece %14,0 $Pb(NO_3)_2$ içeren ve yoğunluğu 1,134 g/mL olan 96,7 mL lik çözeltiye ilave ediliyor. Oluşan $PbI_2(k)$ ün kütlesi kaç g dır?

$$Pb(NO_3)_2(suda) + 2\ KI(suda) \longrightarrow PbI_2(k) + 2\ KNO_3(suda)$$

110. Kalsiyum karbonat,$CaCO_3(k)$, katısı HCl(suda) ile H_2O, $CaCl_2$(suda) ve $CO_2(g)$ vermek üzere tepkimeye girer. 45,0 g $CaCO_3(k)$ örneği, kütlece %25,7 HCl içeren ve yoğunluğu 1,13 g/mL olan 1,25 L lik HCl(suda) çözeltisi içine ilave ediliyor. Tepkime tamamlandığında çözeltideki HCl nin molaritesi ne olacaktır? (Çözelti hacminin sabit kaldığını varsayınız.)

111. 2,05 g lık bir demir-alüminyum alaşımı (ferroaluminyum) örneği, aşırı miktarda HCl(suda) çözeltisinde çözülüyor ve 0,105 g $H_2(g)$ oluşuyor. Ferroalüminyumun kütlece yüzde bileşimi nedir?

$$Fe(k) + 2\,HCl(suda) \longrightarrow FeCl_2(suda) + H_2(g)$$

$$2\,Al(k) + 6\,HCl(suda) \longrightarrow 2\,AlCl_3(suda) + 3H_2(g)$$

112. 0,155 g lık bir Al - Mg alaşımı, HCl(suda) çözeltisinin aşırısı ile tepkimeye giriyor ve 0,0163 g H_2 oluşuyor. Alaşımdaki Mg yüzdesi nedir? [*İpucu:* (4.2) ye benzer eşitlikler yazınız.]

113. Bir organik sıvının metil alkol (CH_3OH), etil alkol (CH_3CH_2OH) veya bu ikisinin karışımı olduğu sanılmaktadır. 0,220 g sıvı örneği aşırı miktarda $O_2(g)$ içinde yakılıyor ve 0,352 g $CO_2(g)$ oluşuyor. Bu sıvı, saf bir alkol mü yoksa ikisinin bir karışımı mıdır?

114. Etil alkolün, CH_3CH_2OH, üretiminde yan ürün olarak dietil eter, $(C_2H_5)_2O$, oluşur. Bu işlemin ürününden 1,005 g lık bir örneğin tam yanması sonucu 1,963 g CO_2 elde ediliyor. Bu örnekteki $(C_2H_5)_2O$ ve CH_3CH_2OH bileşiklerinin kütlece yüzdeleri ne olmalıdır?

115. Bir karışım yalnız $CuCl_2$ ve $FeCl_3$ içerir. 0,7391 g lık karışım tam olarak suda çözünüyor ve $AgNO_3$(suda) ile aşağıdaki tepkimeye göre etkileştiriliyor.

$$CuCl_2(suda) + 2\,AgNO_3(suda) \longrightarrow 2\,AgCl(k) + Cu(NO_3)_2(suda)$$

$$FeCl_3(suda) + 3\,AgNO_3(suda) \longrightarrow 3\,AgCl(k) + Fe(NO_3)_3(suda)$$

Klorürün tamamını AgCl halinde çöktürmek için 86,91 mL 0,1463 M $AgNO_3$ çözeltisi gerekli ise, karışımdaki bakırın kütlece yüzdesi nedir?

116. Uygun koşullarda, bakır sülfat, potasyum kromat ve su tepkimeye girerek Cu^{+2}, CrO_4^{2-} ve OH^- iyonları içeren bir ürün oluşturuyor. Bileşiğin analizi %48,7 Cu^{2+}, %35,6 CrO_4^{2-} ve %15,7 OH^- içerdiğini gösteriyor.

(a) Bu bileşiğin kaba formülünü bulunuz.

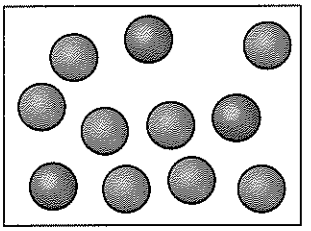
(b) Bu tepkime için uygun bir eşitlik yazınız.

117. Kütlece %34,62 C; %3,88 H ve %61,50 O içeren malonik asidin tam yanmasını gösteren kimyasal bir eşitlik yazınız.

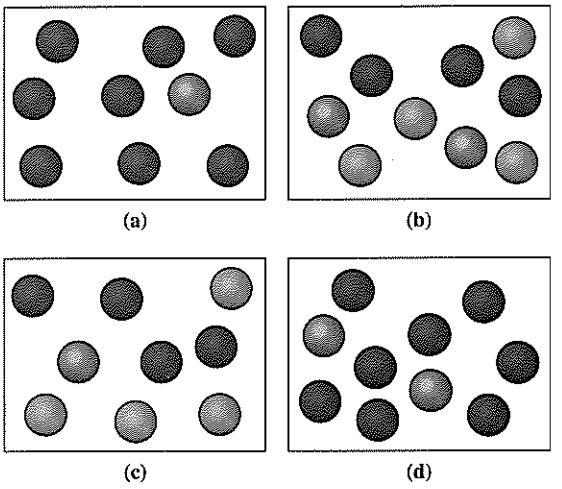
118. Aluminyum metali ve demir (III) oksit, aluminyum oksit ve demir metali vermek üzere tepkimeye giriyor. 2,5 g aluminyum ve 9,5 g demir (III) oksit içeren bir tepkime karışımından elde edilen demirin maksimum kütlesi nedir? Artan aşırı tepkenin kütlesi nedir?

119. Gümüş nitrat çok pahalı bir kimyasal maddedir. Özel bir analiz için 0,0750 M $AgNO_3$(suda) çözeltisinden 100,0 mL ye ihtiyaç duyuyorsunuz. Fakat elinizde ancak 60,0 mL 0,0500 M $AgNO_3$ çözeltisi bulunmaktadır. 100,0 mL lik ölçülü balona pipetle elinizdeki bu 60,0 mL 0,0500M $AgNO_3$ çözeltisinden tam olarak 50,00 mL koydunuz ve istenilen derişimi (0,0750M) elde etmek için uygun bir kütlede $AgNO_3$ eklediniz, daha sonra tam olarak 100,0 mL ye seyreltiniz. Kullandığınız $AgNO_3$ kütlesi nedir?

120. Bir tepkime kabında kükürt (S_8) ve klor karıştırılırsa, tek ürün disülfür diklorürdür. Bu başlangıç karışımında S_8 molekülleri sarı kürelerle ve klor molekülleri yeşil kürelerle gösterilmiştir.



Bir miktar disülfür diklorür (kırmızı küreler) oluştuktan sonra, tepkime kabı içeriğini en iyi aşağıdakilerden hangisi gösterir?



121. Otomobillerin eksoz gazlarından olan azot oksitlerin (NO_2 gibi) uzaklaştırılması için bir yöntem, eksoz gazlarının katı siyanürik asit,$C_3N_3(OH)_3$ üzerinden geçirilmesidir. Eksoz gazları siyanürik asit ile etkileştiğinde, katı siyanürik asit izosiyanik asit buharına, HNCO(g), ayrışır. HNCO(g) eksoz gazlarındaki NO_2 ile tepkimeye girerek N_2, CO_2 ve H_2O verir. Bu yöntemde 1 gram NO_2 için kaç gram $C_3N_3(OH)_3$ gereklidir?

[*İpucu:* HNCO ve NO_2 arasındaki tepkime eşitliğini denkleştirmek için H, C, O ve N atom sırasını kullanınız.]

122. Özel bir tepkimede, tek tepken olan amonyum dikromat, üç üründen ikisi olan krom (III) oksit ve H_2O'yu oluşturur. Üçüncü ürün nedir? Bozunan amonyum dikromatın kilogramı başına bu üründen kaç gram oluşur?

123. Şu üç kaynaktan; 345 mL 1,29 M $CO(NH_2)_2$, 485 mL 0,653 M $CO(NH_2)_2$ ve 835 mL 0,775 M $CO(NH_2)_2$; olabildiğince *çok* 1,25 M lık üre [$CO(NH_2)_2$(suda)] elde edilmek isteniyor. Bu nasıl yapılabilir? Böyle bir çözeltinin hacmi en fazla ne olabilir?

124. İlmenit minerali($FeTiO_3$) beyaz bir pigment olan titan dioksit için önemli bir kaynaktır. Bu mineralden titan dioksit eldesinin birinci adımı, ilmenitin, sülfürik asit ve su ile tepkimeye sokularak $TiOSO_4$ ve demir(II) sülfat heptahidrat oluşturulmasıdır. Titan dioksit, sonraki iki adımda elde edilir. $1{,}00 \times 10^3$ kg ilmenitten kaç kg demir (II) sülfat heptahidrat elde edilir?

125. 124. soruyu gözönüne alınız. İlmenit cevherinden elde edilen demir(II) sülfat heptahidrat çevreye atılamaz. Daha ileri bir işlemde, susuz demir(II) sülfat oluşturmak üzere ısıtılarak suyu uzaklaştırılır. Daha fazla ısıtılırsa, demir(II) sülfat demir (III) oksit, kükürt dioksit ve oksijen gazına bozunur. Demir (III) oksit, demir ve çelik üretiminde kullanılır. $1{,}00 \times 10^3$ kg demir(II) sülfat heptahidrattan kaç kg demir(III) oksit elde edilir?

126. Melamin,$C_3N_3(NH_2)_3$, yapıştırıcılar ve reçinelerde kullanılır. Yalnızca üreden, $[CO(NH_2)_2]$ çıkılarak iki adımda sentezlenir. Ara ürün izosiyanik asittir, [HNCO]. Amonyak ve karbon dioksit gazları yan ürünlerdir.
(a) *Net* tepkime için denkleştirilmiş bir eşitlik yazınız.
(b) Net tepkime verimi %84 ise, 100,0 kg üreden elde edilecek melaminin kütlesi nedir?

127. Akrilonitril yapay lifler, plastikler ve lastik üretiminde kullanılır. Akrilonitrilin kendisi propilen (propen), amonyak ve oksijenden çıkılarak, aşağıda gösterilen tepkimeye göre elde edilebilir.
(a) Bu tepkime için denkleştirilmiş bir kimyasal eşitlik yazınız.
(b) Bu tepkimenin gerçek verimi, 1 kilogram propilen başına 0,73 kg akrilonitrildir. 1,00 ton (1000 kg) akrilonitril elde etmek için gerekli amonyağın kütlesi en az ne kadar olmalıdır?



128. Özellikle karmaşık tepkime basamaklarından oluşan biyolojik türler için, çözeltideki bir türün derişimini belirlemek çoğu kez güçtür. Bunun için izlenen bir yol, etiketlenen moleküllerle bir seyreltme yapmaktır. Burada moleküller yerine balık kullanalım.

Balık tutan bir kişi, bir havuzdaki balık sayısını öğrenmek istemektedir. Bu amaçla 100 balık üzerine kalıcı bir işaret koyar ve onları havuzdaki balıklara ilave eder. Balıkların havuzda yayılmasını bekledikten sonra, balık tutmaya başlar. Yakaladığı 18 balığın beşi işaretlidir. Havuzdaki balıkların toplam sayısı nedir?

Özellikli Sorular

129. Kurşun nitrat ve potasyum iyodür sulu çözeltide tepkimeye girerek, sarı kurşun iyodür çökeleğini veriyor. Bir seri deneyde, tepkenlerin kütleleri değiştiği halde, *toplam* kütleleri 5,000 g'da sabit tutuluyor. Kurşun iyodür süzülerek alınıyor, yıkanıyor, kurutuluyor ve tartılıyor. Bir seri tepkime için elde edilen veriler aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir.

Deney	Kurşun Nitrat Kütlesi, *g*	Kurşun İyodür Kütlesi, *g*
1	0,500	0,692
2	1,000	1,388
3	1,500	2,093
4	3,000	2,778
5	4,000	1,391

(a) Kurşun iyodürün kütlesini, kurşun nitratın kütlesine karşı grafiğe geçiriniz ve noktaları birleştiren uygun eğri ya da eğrileri çiziniz. Elde edilebilen çökeleğin kütlesi en fazla nedir?
(b) En fazla çökelek niçin tepkenler stokiyometrik miktarlarda iken elde edilir? Bu stokiyometrik oranlar kütlece ve molce nedir?
(c) (b) şıkkında belirlenen stokiyometrik oranların denkleştirilmiş eşitlikle nasıl ilişkili olduğunu gösteriniz.

130. *Yeşil kimya*, kimyasal etkinliklerin çevresel etkisini minimum yapmak için kullanılan yöntemlerin tümünden oluşur. Yeşil kimyadaki faktörlerden biri *atom ekonomisi*, yani tepkenlerdeki atomların istenilen ürünü oluşturmak üzere, yeniden düzenlenme verimidir. Atom ekonomisi (AE) aşağıdaki eşitlikle, yüzde olarak şöyle tanımlanır.

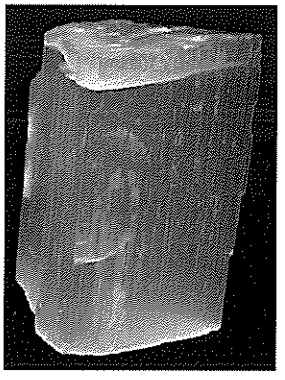
$$\text{AE} = \frac{\text{İstenilen ürünün formül kütlesi}}{\text{Tüm tepkenlerin formül kütlelerinin toplamı}} \times \%100$$

$H_2(g)$ gazı $O_2(g)$ ile yandığı zaman tek ürün H_2O dur. Tepkenlerin tüm atomları üründe görülür. $2\ H_2\ (g) + O_2(g) \longrightarrow 2\ H_2O\ (s)$ eşitliği ile gösterildiği gibi, atom ekonomisi % 100 dür.
(a) Hidrazinin sentezi için kuramsal maksimum AE nedir? (eşitlik 4B).
(b) Gerçek AE, niçin (a) da hesaplanandan daha azdır?
(c) Su yerine aseton kullanılması AE'yi niçin artırır? Açıklayınız.
(d) % 100'lük kuramsal AE'ye sahip olacak olan, hidrazin sentezi için bir tepkime öneriniz.

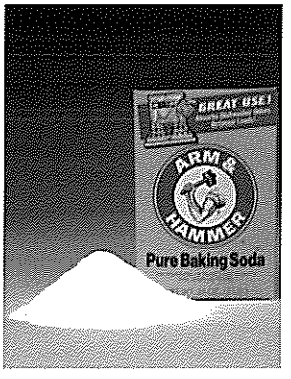
131. Yemek sodası,$NaHCO_3$, ticari adı soda külü denen sodyum karbonattan elde edilir. Soda külü şu iki yoldan biri ile elde edilir: Birinisinde karbon dioksit, amonyak, sodyum klorür ve sudan

yola çıkılarak, belli bir işlemle üretilir. Diğer yolda ise, *trona* (soldaki fotoğraf) minerali halinde doğadan çıkarılır. Soda külü ister doğadan çıkarılsın, isterse fabrikalarda üretilsin, suda çözülür ve içinden karbon dioksit geçirilir, çözeltide sodyum bikarbonat çöker.

Size, biri fabrikada üretilmiş, diğeri trona'dan elde edilmiş iki sodyum bikarbonat örneği veriliyor ve hangisinin daha saf olduğunu bulmanız isteniyor. Safsızlığın sodyum karbonat olduğu da size söyleniyor. Örnekleri hidroklorik asitle muamele ederek, bütün sodyum karbonat ve bikarbonatları sodyum klorür, karbon dioksit ve suya dönüştürmeye karar veriyorsunuz. Sonra da, sodyum klorürün gümüş nitrat ile tepkimesinden, gümüş klorürü çöktürüyorunuz. Tronadan elde edilen, 6,93 g sodyum bikarbonat örneği 11,89 g gümüş klorür veriyor. Fabrikada üretilen sodyum 6,78 g karbonat örneği 11,77 g gümüş klorür oluşturuyor. Hangi örnek daha saftır, yani hangisinde %$NaHCO_3$ daha fazladır?



Trona
$Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$



Yemek sodası
$NaHCO_3$

Kendi Kendini Deneme Soruları

132. Aşağıdaki terim ve simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız ya da açıklayınız:

(a) $\xrightarrow{\Delta}$ **(b)** (suda)
(c) stokiyometrik katsayı **(d)** net eşitlik

133. Aşağıdaki kavram ya da yöntemlerin her birini kısaca açıklayınız. **(a)** bir kimyasal eşitliğin denkleştirilmesi; **(b)** seyreltme ile çözelti hazırlanması; **(c)** bir tepkimede sınırlayıcı bileşenin belirlenmesi.

134. Her bir terim çifti arasındaki önemli farkları açıklayınız. **(a)** Kimyasal formül ve kimyasal eşitlik; **(b)** stokiyometrik katsayı ve stokiyometrik faktor; **(c)** çözünen ve çözücü; **(d)** gerçek ve yüzde verim; **(e)** ardışık ve eşzamanlı tepkimeler.

135. Aşağıdaki eşitlik denkleştirildiğinde stokiyometrik katsayıların doğru sıralaması aşağıdakilerden hangisidir? **(a)** 1,6 ⟶ 1,3,4; (b) 1,4 ⟶ 1,2,2; (c) 2,6 ⟶ 2,3,2; (d) 3,8 ⟶ 3,4,2

$$? \, Cu(k) + ? \, HNO_3(suda) \longrightarrow ? \, Cu(NO_3)_2(suda) + ? \, H_2O(s) + ? \, NO(g)$$

136. Bir tepkime karışımı 1,0 mol $CaCN_2$ (kalsiyum siyanamit) ve 1,0 mol H_2O içerir. Oluşan NH_3'ın maksimum mol sayısı nedir? **(a)** 3,0; **(b)** 2,0; **(c)** 1,0 ve 2,0 arasında; **(d)** 1,0 den daha az.

$$CaCN_2(k) + 3 \, H_2O(s) \longrightarrow CaCO_3 + 2 \, NH_3(g)$$

137. Aşağıdaki kimyasal eşitliği dikkate alarak, $KMnO_4$, KI ve H_2SO_4'ün herbirinden 5,0 mol içeren bir tepkime karışımından en fazla kaç mol K_2SO_4 elde edilebileceğini bulunuz? **(a)** 3,0 mol; **(b)** 3,8 mol; **(c)** 5,0 mol; **(d)** 6,0 mol; **(e)** 15 mol.

$$2 \, KMnO_4 + 10 \, KI + 8 \, H_2SO_4 \longrightarrow 6 \, K_2SO_4 + 2 \, MnSO_4 + 5 \, I_2 + 8 \, H_2O$$

138. Gümüş (I) karbonatın metalik gümüş, karbon dioksit gazı ve oksijen gazı oluşturmak üzere ayrışmasında, **(a)** 2 mol karbon dioksit gazına karşılık 1 mol oksijen gazı oluşur; **(b)** 1 mol oksijen gazına karşılık 2 mol gümüş metali oluşur; **(c)** karbon dioksit ve oksijen gazlarından eşit mol sayılarında oluşur; **(d)** ayrışan gümüş (I) karbonatınki ile aynı mol sayısında gümüş metali oluşur.

139. 1,00 M $NaNO_3$ çözeltisi elde etmek için aşağıdakilerden hangisini hazırlarsınız? **(a)** 100 g $NaNO_3$ içeren 1,00 L sulu çözelti; **(b)** 85,0 g $NaNO_3$ içeren 1 kg sulu çözelti; (c) 425 g $NaNO_3$ içeren 5,00 L sulu çözelti; (d) 8,5 mg $NaNO_3$/mL içeren bir sulu çözelti.

140. 100,0 mL 0,40 M KCl çözeltisinden çıkarak 0,50 M KCl çözeltisi hazırlamak için (a) 20,0 mL su ilave edilir; (b) 0,075 g KCl ilave edilir; (c) 0,10 mol KCl ilave edilir; (d) 20,0 mL su buharlaştırılır.

141. Kütlece % 5,30 LiBr içeren bir sulu çözeltinin yoğunluğu 1,040 g/mL'dir. Bu çözeltinin molaritesi nedir? **(a)** 0,563 M; **(b)** 0,635 M; **(c)** 0,0635 M; **(d)** 0,0563 M; **(e)** 12,0 M.

142. 2,00 mol CCl_4'ün aşırı HF ile tepkimesinde, 1,70 mol CCl_2F_2 elde edilir.

$$CCl_4 + 2 \, HF \longrightarrow CCl_2F_2 + 2 \, HCl$$

(a) Kuramsal verim, 1,70 mol CCl_2F_2 dir.
(b) Kuramsal verim, 1,00 mol CCl_2F_2 dir.
(c) Kuramsal verim kullanılan aşırı HF'nin büyüklüğüne bağlıdır.
(d) Yüzde verim % 85'dir.

143. Benzinin tam olmayan yanmasında, $CO_2(g)$ yanında CO(g) de oluşturur. Aşağıdaki eştlikleri yazınız. **(a)** benzin bileşeni oktanın, $C_3H_8(s)$ tam yanması ve **(b)** oktanın, karbonunun % 25 inin CO(g) verdiği tam olmayan yanması.

144. Kalsit ($CaCO_3$) magnesit ($MgCO_3$), ve dolomit, ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) mineralleri, güçlü bir şekilde ısıtıldığı zaman ilgili metal oksitleri ve karbon dioksit gazı oluşturmak üzere ayrışırlar. Üç mineralden biri olduğu bilinen 1,000 g'lık örnek güçlü bir şekilde ısıtıldığında 0,477 g CO_2 elde ediliyor. Bu örnek, üç mineralden hangisidir?

145. Bir CH_4 ve C_2H_6 karışımının 1,000 g'lık bir örneği O_2 de tam yakılıyor ve 2,776 g CO_2 açığa çıkıyor. Karışımdaki CH_4 ün kütlece yüzdesi nedir? **(a)** % 93; **(b)** % 67; **(c)** % 67; **(d)** % 36; **(e)** % 36 dan daha az.

146. Nitrik asit (HNO_3), NH_3'dan aşağıdaki üçlü tepkime dizisiyle elde edilebilir.

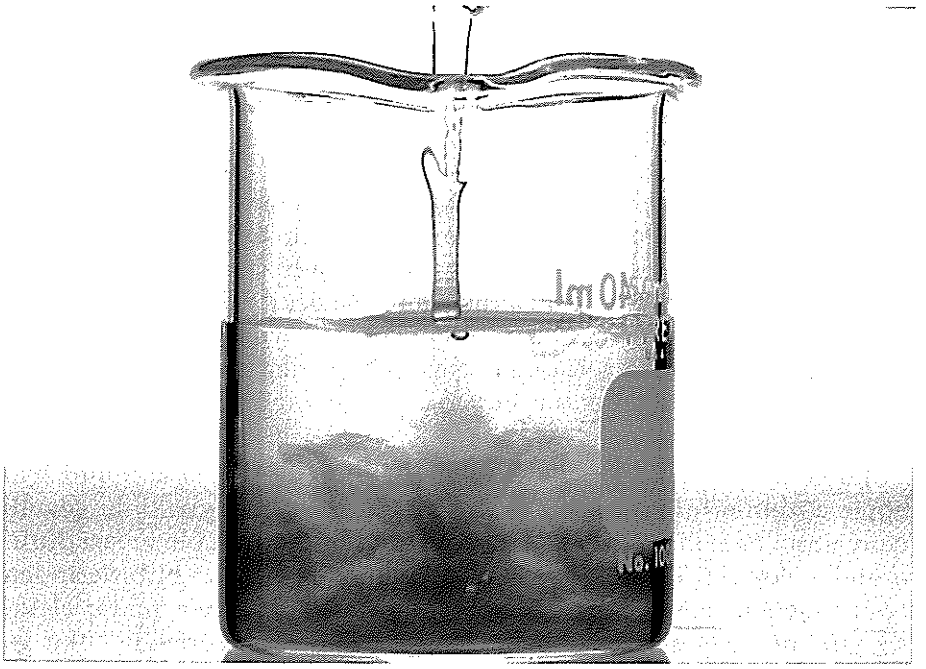
Adım 1: $4NH(g) + 5\,O_2(g) \rightarrow 4\,NO(g) + 6\,H2O(s)$
Adım 2: $2\,NO5g) + O_2(g) \rightarrow 2\,NO_2(g)$
Adım 3: $3\,NO_2\,(g) + H_2O(s) \rightarrow 2HNO_3(suda) + NO(g)$

4,00 mol NH_3'dan elde edilen HNO_3'in mol sayısı en fazla kaç olmalıdır? (Adım 3'de oluşan NO'in adım 2'ye tekrar dönmediğini varsayınız). **(a)** 1,33 mol; **(b)** 2,00 mol **(c)** 2,67 mol; **(d)** 4,00 mol; **(e)** 6,00 mol.

147. Ek E, kavram haritalaması olarak bilinen kullanışlı bir çalışmayı verir. Ek E'deki mevcut yöntemi kullanarak Kesim 4-3, 4-4, ve 4-5'de bulunan konulara ilişkin bir kavram haritası oluşturunuz.

5

Sulu Çözelti Tepkimelerine Giriş



Berrak, renksiz kobalt (II) klorür ve sodyum hidroksitin sulu çözeltileri karıştırıldığında, mavi bir bulut şeklinde katı kobalt (II) hidroksit meydana gelir. Bu tip çökelme tepkimeleri bu bölüm içinde incelenen üç tepkime türünden biridir.

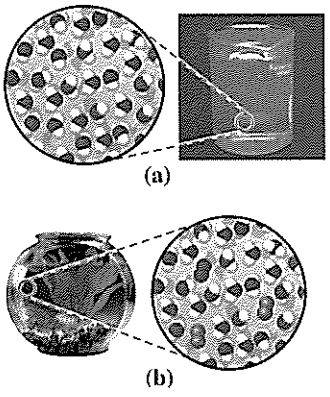
İÇİNDEKİLER

5-1 Sulu Çözeltilerin Doğası
5-2 Çökelme Tepkimeleri
5-3 Asit-Baz Tepkimeleri
5-4 Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri: Bazı Genel İlkeler
5-5 Yükseltgenme-İndirgenme Eşitliklerinin Denkleştirilmesi
5-6 Yükseltgen ve İndirgenler
5-7 Sulu Çözeltilerin Stokiyometrisi: Titrasyonlar

Genel kimya laboratuarındaki tepkimelerin birçoğu, sulu çözeltilerde gerçekleştirilir. Sulu çözeltiler doğru tartılmış tepkenlerin bir araya getirilmesine ve kimyasal analiz yöntemlerinin kolaylıkla uygulanabilmesine uygun ortam sağlarlar. Bu bölümde, sulu çözeltilerde meydana gelen üç farklı tepkimeyi, çökelme, asit-baz ve yükseltgenme-indirgenme tepkimelerini ele alacağız. Burada amacımız, tepkimelerde yer alan maddeleri tanımak, bu maddelerde meydana gelen değişimleri izlemek ve her bir tepkimenin laboratuarda, numune analizinde kullanım yollarını incelemektir.

Çözeltilerin karıştırılmasıyla bir çökeleğin meydana gelmesi, belki de bir genel kimya öğrencisinin, kimyasal tepkimenin oluştuğuna dair görebileceği başlıca kanıttır. Çöktürme işleminin pratikteki bir uygulaması, bir çözeltide bulunan bazı iyonların belirlenmesidir. Örneğin, etiketlenmemiş bir şişede baryum nitrat çözeltisi mi, yoksa baryum klorür çözeltisi mi bulunduğunu anlamak için, bu sıvıdan alınan az miktarda örneğe bir iki damla gümüş nitrat çözeltisi damlatırız. Eğer beyaz bir katı oluşursa, elimizdeki örnek bir baryum klorür çözeltisidir. Bir değişiklik olmazsa örneğimiz baryum nitrat çözeltisidir. Burada, gümüş nitrattan gelen Ag^+

iyonları ve baryum klorürden gelen Cl^- iyonları çözünmeyen AgCl(k) çökeleğini oluştururlar. Bu bölümde ilk inceleyeceğimiz tepkime tipi, çökelme tepkimeleridir. $Mg(OH)_2$(k) suda çözünmez, fakat HCl(suda) ile bir asit-baz tepkimesi vererek çözünür. Bu tepkime, midemizde bulunan asidin aşırısını nötürleştiren magnezya sütünün verdiği tepkimenin aynısıdır. Magnezya sütünün ana bileşeni olan magnezyum hidroksit bir bazdır. Bu bölümde inceleyeceğimiz ikinci tepkime sınıfı ise asit-baz tepkimeleridir. Üçüncü tepkime sınıfı indirgenme-yükseltgenme tepkimeleri olacaktır. Bu tepkimeler organizmalardaki tepkimelerden, kimyasal maddelerin üretimine, tekstil maddelerinin ağartılmasına, suyun arıtılmasına ve zehirli kimyasal maddelerin uzaklaştırılmasına kadar, yaşamın bütün evrelerinde kullanılır.



▲ ŞEKİL 5-1
Su ve havanın sulu çözeltisinin molekül görünümü
(a) Su molekülleri (kırmızı ve beyaz) sıvı suda sıkışık bir düzen içindedir. **(b)** Suda çözünen oksijen molekülleri (kırmızı) ve azot molekülleri (mavi) birbirlerinden uzaktadırlar; çünkü su molekülleri ile ayrılmışlardır.

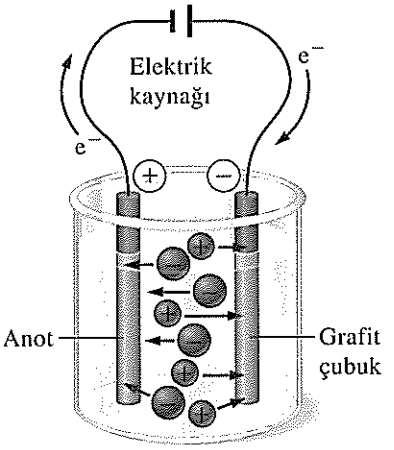
5-1 Sulu Çözeltilerin Doğası

Bir çözeltiyi molekül düzeyinde aklımızda canlandırmaya çalışalım. Çözeltideki moleküllerin büyük kısmı çözücü molekülleridir ve bunlar oldukça sıkışık bir biçimde istiflenmişlerdir. Sulu çözeltilerde su çözücüdür ve bizim aklımızda canlandırdığımız su Şekil 5-1(a) ya benzemelidir. Çözünen madde parçacıkları moleküller veya iyonlar halinde, çözücü molekülleri arasına rastgele dağılmış ve sayıca daha azdır. Havanın aklımızda canlandıracağımız bir sulu çözeltisi Şekil 5-1(b) deki simgesel duruma benzer.

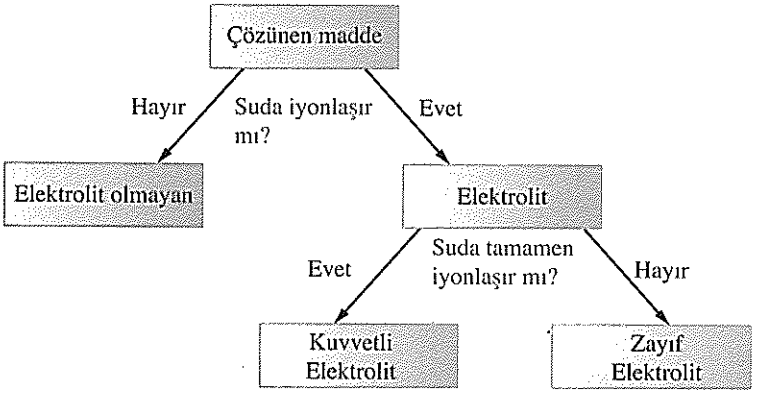
Bu bölüm boyunca iyonların sulu çözeltileri ile karşılaşacağımız için böyle çözeltilerin doğasını daha yakından incelemeliyiz. Sulu çözelti iyonlarının önemli bir özelliği, derişimlerinin çok düşük olmaması durumunda, elektriği iletmeleridir. Sulu çözeltilerde iyonlar birbirlerinden etkilenmeden serbest hareket edebildiklerinden, belli bir miktar elektrik yükünü taşıyarak iletebilirler. (Metal iletkenlerde, örneğin bakır ya da tungstende, elektrik yükünü elektronlar taşır.) Şekil 5-2 de iyonların elektriği nasıl ilettiği gösterilmiştir.

▶ Eğer çözünen madde *tamamen iyonlaşırsa*, suda tamamen iyonlar halinde bulunur. Eğer çözünen madde *kısmen iyonlaşırsa*, moleküllerinin sadece bir kısmı iyonlarına ayrılır.

Bir sulu çözeltinin elektriği iletip iletmeyeceği, içinde çözünmüş olan maddelerin doğasına bağlıdır. Saf su çok az sayıda iyon içerdiği için elektriği iletmez. Ancak, bazı çözünen maddeler çözeltide iyonlar meydana getirirler ve bu iyonlar çözeltinin elektriği iletmesini sağlarlar. Suda çözündükleri zaman ortama iyon veren çözünenlere **elektrolitler** denir. Suda çözündüklerinde ortama iyon vermeyen çözünenler ise **elektrolit olmayanlar** olarak adlandırılır. Bütün elektrolitlerin suda iyon oluşturma eğilimleri eşit değildir. Sulu çözeltide *tamamen iyonlaşan* maddeye **kuvvetli elektrolit** denir. Bir başka ifade ile kuvvetli elektrolit, yüksek iyon



▶ ŞEKİL 5-2
Bir çözeltide elektriğin iletilmesi
Elektrot adı verilen iki grafit çubuk çözelti içine daldırılmıştır. Bir dış elektrik kaynağı elektronları bir çubuktan çeker ve diğer çubuk üzerine gönderir. Sonuçta bir elektrot üzerinde pozitif, diğeri (sağ) üzerinde negatif elektrik yükü oluşur. Çözeltide, pozitif iyonlar (katyonlar) negatif elektroda, *katoda*; negatif iyonlar (anyonlar) da pozitif elektroda, *anoda* doğru çekilir. Böylece elektrik yükü çözelti tarafından iyon göçü ile taşınır. Elektriksel iletkenliğin diğer önemli özellikleri, Bölüm 20' de incelenecektir.



◀ ŞEKİL 5-3
Çözünen maddelerin sınıflandırılması

verme eğilimi gösteren maddedir. **Zayıf elektrolit** ise sulu çözeltide *kısmen iyonlaşan* maddedir. Zayıf elektrolitin iyonlaşma eğilimi düşüktür. Şekil 5-3 de çözünen maddelerin sınıflandırılması verilmiştir.

Şekil 5-4 de gösterilen düzenekle, çözeltinin elektriği nasıl ilettiğini ölçerek, sulu çözeltide iyonların varlığını kanıtlayabiliriz. Gözlemlerimiz aşağıdakilerden birisi olacaktır:

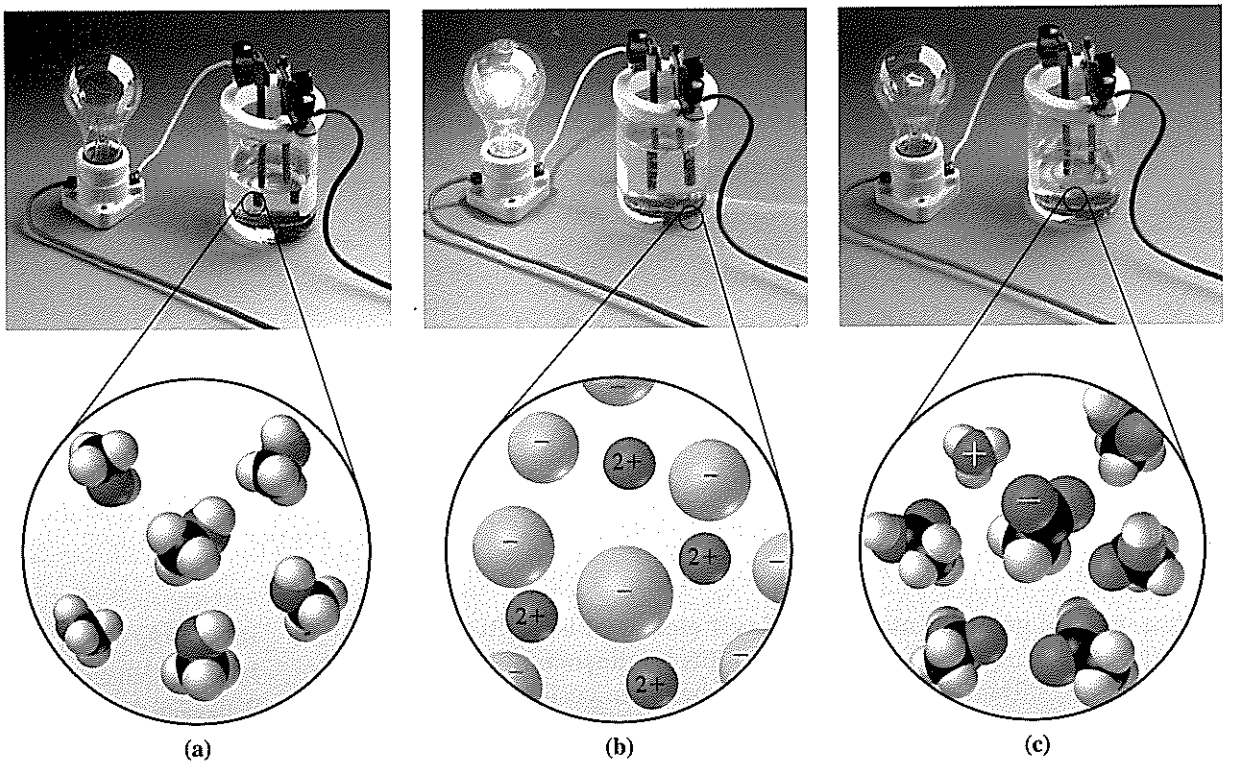
- *Lamba yanmaz* (Şekil 5-4a). Sonuç: çözeltide iyonlar yoktur (biraz varsa da derişimleri çok düşüktür). Bu çözelti ya bir elektrolit olmayanın ya da bir elektrolitin çok seyreltik çözeltisidir. Elektrolit olmayan bir bileşik iyonlaşmaz ve elektriği iletmez. Örneğin metanol, CH_3OH, suda iyonlaşmaz ve dolayısı ile *elektrolit olmayan* bir çözünendir. Şekil 5-4a' da, sulu metanol çözeltisinin mikroskopik görünümünden, hiçbir CH_3OH molekülünün suda iyonlaşmadığını görmekteyiz.
- *Lamba parlak ışık verir* (Şekil 5-4b). Sonuç: çözeltide iyon derişimi yüksektir. Çözünen *kuvvetli bir elektrolit*tir. Magnezyum klorür, $MgCl_2$, suda tamamen iyonlaşan iyonik bir bileşiktir. Şekil 5-4b' de verilen mikroskopik görünüme göre, sulu $MgCl_2$ çözeltisinde Mg^{2+} ve Cl^- iyonları bulunmaktadır.
- *Lamba soluk ışık verir* (Şekil 5-4c). Sonuç: çözeltide iyonlar vardır, ancak derişimleri düşüktür. Bu çözelti, asetik asit (CH_3COOH) çözeltisi gibi zayıf bir elektrolit çözeltisi veya seyreltik (çok seyreltik değil) bir kuvvetli elektrolit çözeltisi olabilir. Sulu asetik asit çözeltisinin Şekil 5-4c de verilen mikroskopik görünümünde CH_3COOH moleküllerinden sadece bir kısmının iyonlaştığı görülmektedir. Sulu asetik asit çözeltisi elektriği az iletir.

Aşağıdaki genelleme, sulu bir çözeltideki çözünenin elektrolit olmadığına, kuvvetli elektrolit olduğuna ya da zayıf elektrolit olduğuna karar vermemize yardım eder.

UNUTMAYINIZ

Bir çözeltinin elektriksel iletkenliği iki faktöre bağlıdır: (1) elektrolitin toplam derişimi, (2) elektrolitin iyonlaşma eğilimi. Örneğin 0,001 M HCl(suda) çözeltisi elektriği iletirken, 1×10^{-6} M HCl(suda) çözeltisi, her bir HCl molekülü, H^+ ve Cl^- iyonlarına ayrışmasına rağmen elektriği iletmez.

- Hemen hemen bütün çözünebilen iyonik bileşikler ve bazı az sayıdaki molekül yapısında olan bileşikler kuvvetli elektrolittir.
- Molekül yapısındaki bileşiklerin pek çoğu ya elektrolit değildirler, ya da zayıf elektrolitdirler.



UNUTMAYINIZ

Çözücü molekülleri yoğun bir biçimde istiflenmiştir. Şekil 5-4' teki gibi, diyagramlarda çözücüleri genellikle renkli zeminler halinde, çözünen tanecikleri ise resmederek göstereceğiz.

▲ ŞEKİL 5-4

Üç tür elektrolit

(a) Bu durumda iyonlar yoktur, yalnızca moleküller vardır. Metanol (metil alkol), CH_3OH, sulu çözeltilerde elektrolit değildir. **(b)** Bu şekilde görüldüğü gibi çözünen madde tamamen ayrı ayrı iyonlar halindedir. $MgCl_2$, sulu çözeltilerde kuvvetli bir elektrolittir. **(c)** Burada ise çözünen maddenin büyük bir kısmı moleküller halindedir ve moleküllerin çok az bir kısmı iyonlaşmıştır. Sulu çözeltide CH_3COOH zayıf bir elektrolittir. CH_3COOH molekülleri iyonlaştığında asetat iyonları, CH_3COO^- ve H^+ iyonları meydana gelir ve H^+ iyonları su moleküllerine bağlanarak H_3O^+ iyonlarını oluştururlar.

Şimdi bu üç tip bileşiği kimyasal eşitliklerle en iyi nasıl göstereceğimizi inceleyelim. Suda çözünen iyonik bir bileşik olan $MgCl_2$ için şu eşitliği yazabiliriz.

$$MgCl_2(suda) \longrightarrow Mg^{2+}(suda) + 2\,Cl^-(suda)$$

Bu eşitlik bize $MgCl_2$ formül birimlerinin suda iyonlara ayrıştığını gösterir. Böylece $MgCl_2(suda)$ için en iyi gösterim $Mg^{2+}(suda) + 2Cl^-(suda)$ şeklindedir.

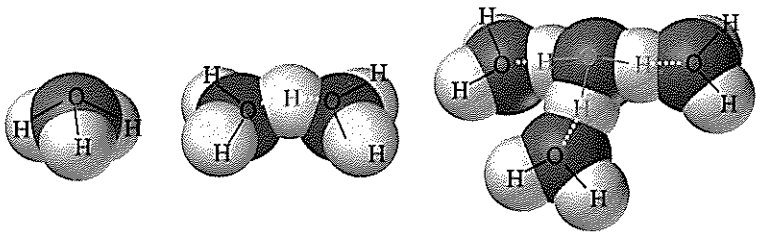
Molekül yapısında bir bileşik olan hidrojen klorür, HCl, kuvvetli bir elektrolittir. HCl suda çözündüğünde aşağıdaki tepkime meydana gelir:

$$HCl(suda) \longrightarrow H^+(suda) + Cl^-(suda)$$

Hidroklorik asidin, HCl(suda), en iyi gösterimi, $H^+(suda) + Cl^-(suda)$ şeklindedir.

Hidrojen katyonu, H^+, üzerinde yoğun araştırmalar yapılan ilginç ve önemli bir türdür. Çıplak H^+ iyonu sulu çözeltide bulunmaz. Bu H^+ iyonu (çıplak proton) çevresindeki su molekülleri ile etkileşerek *hidronyum iyonu*, H_3O^+, meydana getirir. Bu H_3O^+ iyonu da yine çevresindeki su molekülleri ile etkileşen çok küçük bir parçacıktır. H_3O^+ iyonu da yine H_2O ile etkileşerek, Şekil 5-5'de görüldüğü gibi, $H_5O_2^+$, $H_7O_3^+$, $H_9O_4^+$

▶ IUPAC, (The International Union of Pure and Applied Chemistry) adlı "Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği," H_3O^+ iyonunun *oksonyum* iyonu olarak adlandırılmasını tavsiye etmiş olmasına karşın, bu teklif henüz kimyacılar tarafından benimsenmemiştir.



Hidronyum iyonu H_3O^+ | Hidratlaşmış proton $H_5O_2^+$ | Hidratlaşmış proton $H_9O_4^+$

◀ ŞEKİL 5-5
Hidratlaşmış proton
Hidronyum iyonu, H_3O^+, elektrostatik çekim kuvvetleriyle diğer su moleküllerine bağlanır.

gibi iyonlar oluşturur. Bu etkileşmelere *hidratlaşma* denir ve hidratlaşmış proton kısaca H^+(suda) şeklinde de gösterilir. Protonla bir tek su molekülünün etkileşimi vurgulanmak istendiğinde H_3O^+(suda) kullanılır. Bu etkileşimlerin temelleri Bölüm 12'de tartışılacak ve Bölüm 16'da ise geniş çapta kullanılacaktır.

Zayıf elektrolit çözeltilerinde iyonlaşma tam olmaz. Bu çözeltilerde çözünen moleküllerin ancak bir kısmı iyonlaşır. Bu nedenle, eşitlik aşağıdaki gibi çift okla gösterilir.

$$CH_3COOH(suda) \rightleftharpoons H^+(suda) + CH_3COO^-(suda)$$

Çift ok tepkimelerin *tersinir* olduğunu belirtir. Çözeltide bazı CH_3COOH (asetik asit) molekülleri iyonlaşırken, bazı H^+ ve CH_3COO^- iyonları tekrar birleşerek yeni CH_3COOH molekülleri oluştururlar. Fakat çözeltide iyonlaşmış ve iyonlaşmamış asetik asidin göreceli oranı sabit kalır. CH_3COOH molekülleri baskındır ve bu yüzden çözelti H^+(suda) + CH_3COO^-(suda) şeklinde değil, CH_3COOH(suda) şeklinde gösterilir. Eğer belli bir CH_3COO grubunu gözlemiş olsaydık, bu grubu CH_3COO^- iyonu şeklinde, çoğunluklada CH_3COOH şeklinde görecektik.

Elektrolit olmayan çözünenlerin sadece molekül formülleri yazarız. Örneğin, metanolün sulu çözeltisi, CH_3OH(suda) şeklinde yazılır.

Sulu çözeltilerin doğası hakkındaki bu yeni bilgilerden sonra, çözelti derişimlerini gösterebiliriz. 0,0050 M $MgCl_2$ çözeltisinde $MgCl_2$ nin tamamen ayrıştığı varsayılırsa, bu durumda her Mg^{2+} iyonuna karşılık iki Cl^- iyonunun oluştuğu görülür. Öyleyse çözeltinin iyon derişimlerini 0,0050 M Mg^{2+} ve 0,0100 M Cl^- şeklinde yazmamız doğru olur. Bundan sonra molar derişimi köşeli parantezle, [ ], göstereceğiz. Böylece, derişim ifadesi $[Mg^{2+}] = 0{,}0050$ M şekline dönüşür. Bu açıklamalara göre, derişimle ilgili ifadeleri toplu olarak aşağıdaki gibi gösterebiliriz.

0,0050 M $MgCl_2$ de: $[Mg^{2+}] = 0{,}0050$ M; $[Cl^-] = 0{,}0100$ M; $[MgCl_2] = 0$ M

Genel olarak $[MgCl_2] = 0$ şeklinde bir gösterime başvurmayız. Burada, çözeltide ayrışmayan $MgCl_2$'ün kalmadığı vurgulanmak istenmektedir.*

Örnek 5-1, kuvvetli bir elektrolit çözeltisindeki iyon derişimlerinin nasıl hesaplanacağını göstermektedir.

UNUTMAYINIZ

Asetik asidin değişik formülleri yazılabilir. $C_2H_4O_2$ şeklinde yazılan molekül formülünde hidrojen (H), atomlarının tipleri arasında bir fark görülmemektedir. $HC_2H_3O_2$ formülünde ise iyonlaşabilen bir H atomu olduğu anlaşılır. CH_3COOH ve CH_3CO_2H formüllerinde ise iyonlaşabilen bir H atomu karboksil grubunun ucunda bulunur. Anımsama: karboksil grubu ve karboksilli asitlerden 3. Bölümde söz edilmişti.

*Kuvvetli elektrolitin sulu çözeltide tamamen iyonlaştığını söylemek iyi bir yaklaşım olmakla beraber tam doğru değildir. Çözeltide anyon ve katyonların bazıları bir araya gelerek *iyon çiftleri* denilen birimler oluşturabilirler. Genellikle düşük çözelti derişimlerini kullanırken, tamamen ayrışmanın kabul edilmesi sonucumuzu ciddi bir şekilde etkilemez.

ÖRNEK 5-1 Kuvvetli Bir Elektrolit Çözeltisinde İyon Derişimlerinin Hesaplanması

0,0165 M $Al_2(SO_4)_3$(suda) çözeltisinde aluminyum ve sülfat iyonları derişimleri nedir?

Analiz

Çözünen kuvvetli bir elektrolittir ve suda tamamen iyonlaşır. Önce $Al_2(SO_4)_3$(suda) bileşiğinin denkleştirilmiş ayrışma eşitliğini yazar, sonra da Al^{3+} ve SO_4^{2-} iyonları ile $Al_2(SO_4)_3$ molaritesi arasındaki ilişkiyi kuran stokiyometrik faktörleri türetiriz.

Çözüm

$Al_2(SO_4)_3$ 'ün ayrışması aşağıdaki eşitlikle gösterilir.

$$Al_2(SO_4)_3(k) \xrightarrow{H_2O} 2\,Al^{3+}(suda) + 3\,SO_4^{2-}(suda)$$

1 mol $Al_2(SO_4)_3$ 'den 2 mol Al^{3+} ve 3 mol SO_4^{2-} meydana geldiği için aşağıdaki eşitliklerde mavi ile gösterilen stokiyometrik faktörler türetilir.

$$[Al^{3+}] = \frac{0{,}0165\ \text{mol}\ Al_2(SO_4)_3}{1\ \text{L}} \times \frac{2\ \text{mol}\ Al^{3+}}{1\ \text{mol}\ Al_2(SO_4)_3} = \frac{0{,}0330\ \text{mol}\ Al^{3+}}{1\ \text{L}}$$

$$= 0{,}0330\ \text{M}$$

$$[SO_4^{2-}] = \frac{0{,}0165\ \text{mol}\ Al_2(SO_4)_3}{1\ \text{L}} \times \frac{3\ \text{mol}\ SO_4^{2-}}{1\ \text{mol}\ Al_2(SO_4)_3} = \frac{0{,}0495\ \text{mol}\ SO_4^{2-}}{1\ \text{L}}$$

$$= 0{,}0495\ \text{M}$$

Değerlendirme

Kuvvetli bir elektrolitten gelen iyonların derişimleri daima elektrolit molaritesinin tam katları olacaktır. Örneğin, 0,0165 M $MgCl_2$ de $[Mg^{2+}] = 1 \times 0{,}0165$ M ve $[Cl^-] = 2 \times 0{,}0165$ M' dır.

ALIŞTIRMA A: Deniz suyundaki başlıca iyonlar Na^+, Mg^{2+} ve Cl^- dir. Deniz suyu yaklaşık 0,438 M NaCl ve 0,0512 M $MgCl_2$ içerir. Deniz suyundaki Cl^- iyonu molaritesi, yani toplam $[Cl^-]$ nedir?

ALIŞTIRMA B: Bir su arıtma fabrikasında, sudaki florür iyonu derişimini 1,5 mg F^-/L miktarına ayarlamak için bu suya florür iyonu ekleniyor.

(a) Bu sudaki florür iyonunun molaritesi nedir?

(b) Eğer bu suya florür iyonu CaF_2 ile sağlanırsa, $1{,}00 \times 10^6$ L suda bulunan CaF_2'nin kütlesi nedir?

5-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

(1) Hangi çözelti en iyi elektriksel iletkendir? **(a)** 0,50 M CH_3COCH_3; **(b)** 0,50 M CH_3CH_2OH; **(c)** 1,00 M $CH_2OHCHOHCH_2OH$; **(d)** 0,050 M CH_3COOH; **(e)** 0,025 M $RbNO_3$.

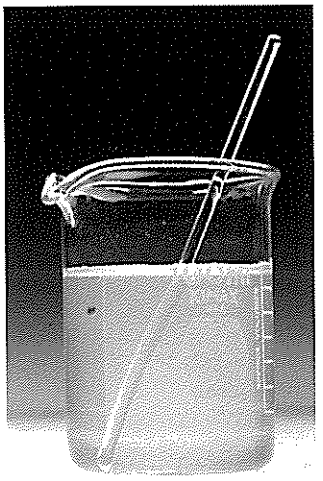
(2) Hangi çözeltide iyonların toplam molaritesi en yüksektir?

(a) 0,008 M $Ba(OH)_2$; **(b)** 0,010 M KI; **(c)** 0,011 M CH_3COOH; **(d)** 0,030 M $HOCH_2CH_2OH$; **(e)** 0,004 M $Al_2(SO_4)_3$?

5-2 Çökelme Tepkimeleri

NaCl gibi bazı metal tuzları suda iyi çözünürken, AgCl gibi diğer bazı metal tuzları çok az çözünür. Gerçekte de AgCl suda çok çok az çözündüğü için *çözünmez* olarak kabul edilir. Birçok çökelme tepkimesinde katyon ve anyonlar birleşerek, **çökelek** denen çözülmeyen iyonik bir katı verirler. Çökelme tepkimelerinin laboratuvar uygulamalarından biri, Şekil 5-6'da görüldüğü gibi, bir çözeltide iyonların var olup olmadığının araştırılmasıdır. Bu tür kimyasal analizler gelecek bölümde incelenecektir. Çökelme tepkimesi endüstride bazı kimyasal maddelerin eldesinde de kullanılır. Örneğin deniz suyundan magnezyum metalinin elde edilmesi

işleminde birinci basamak, Mg^{2+} iyonlarının $Mg(OH)_2(k)$ şeklinde çöktürülmesidir. Bu kesimde bizim amacımız çökelme tepkimelerini kimyasal eşitliklerle göstermek ve çökelmenin olup olmayacağını öngörebilmek için bazı kurallar ortaya koymaktır.



▲ ŞEKİL 5-6
Musluk suyunda Cl^- iyonu aranması
Musluk suyuna birkaç damla $AgNO_3(suda)$ damlatılır. $AgCl(k)$ çökeleğinin oluşması, Cl^- iyonunun varlığını gösterir.

Net İyonik Eşitlikler

Bir sulu çözeltide gümüş nitrat ve sodyum iyodür arasındaki tepkime, sulu sodyum klorür çözeltisi ve açık sarı veya krem rengi gümüş iyodür çökeleğini verir (Şekil 5-7). Bölüm 4'de gördüğümüz eşitlik yazma kurallarını uygulayarak,

$$AgNO_3(suda) + NaI(suda) \longrightarrow AgI(k) + NaNO_3(suda) \qquad (5.1)$$

yazabiliriz. Eşitlik 5.1 ile bu bölümde daha önce öğrendiklerimiz arasında bir çelişki olduğuna dikkat ediniz. $AgNO_3$, NaI ve $NaNO_3$ çözünen iyonik bileşiklerdir (hepsi *kuvvetli* elektrolit) ve sulu çözeltilerinde iyonlarına ayrılmış olarak yazılmalıdırlar.

$$Ag^+(suda) + NO_3^-(suda) + Na+(suda) + I^-(suda) \longrightarrow$$
$$AgI(k) + Na+(suda) + NO_3^-(suda) \qquad (5.2)$$

(5.1) eşitliğine "tam" eşitlik, (5.2) eşitliğine "iyonik" eşitlik diyebiliriz. $Na^+(suda)$ ve $NO_3^-(suda)$'ün (5.2) eşitliğinin her iki tarafında da görüldüğüne dikkat ediniz. Bu iyonlar tepkimeye girmemekte ve bir değişime uğramamaktadırlar. Bunlara **gözlemci iyonlar** denilir. Eğer gözlemci iyonları yok edersek geriye "net iyonik" eşitlik kalır:

$$Ag^+(suda) + I^-(suda) \longrightarrow AgI(k) \qquad (5.3)$$

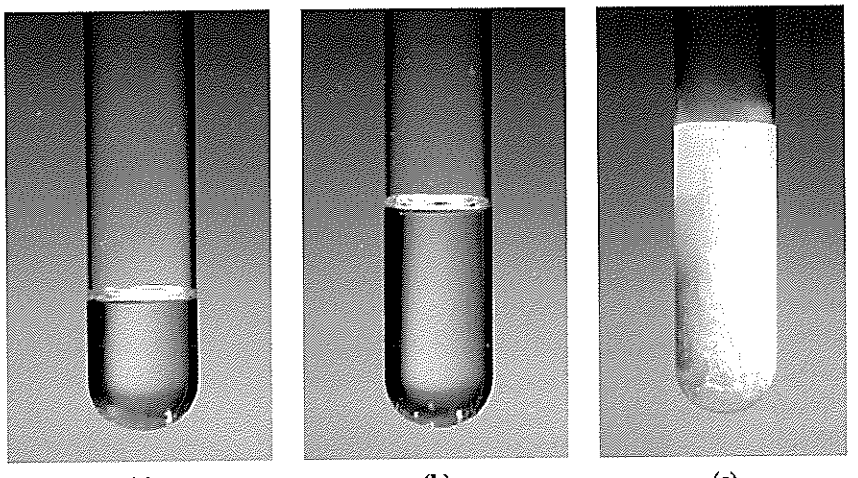
Net iyonik eşitlik, sadece tepkimede yer alan gerçek türleri simge ya da formülleriyle gösteren bir eşitliktir. Her bir iyon için $Ag^+(suda)$ olduğu gibi simgeler ve çözünmeyen katılar için formüller, [AgI(k) gibi] yazılır. Net iyonik eşitlik elektrikle yüklü türler (iyonlar) içerdiği için hem atomlar hem de yükler bakımından denk olmalıdır. Bu bölümde sulu çözeltideki pek çok kimyasal tepkime net iyonik eşitliklerle gösterilecektir.

UNUTMAYINIZ
Çözünmeyen katıların iyonlardan oluştuğunu bilmemize rağmen, formülünde bu iyonların yüklerini yazmayız. Yani $Ag^+I^-(k)$ değil, AgI(k) yazarız.

Çökelme Tepkimelerinin Öngörülmesi

Aşağıda verilen sulu çözeltiler karıştırıldığı zaman bir çökelmenin olup olmayacağının sorulduğunu varsayalım.

$$AgNO_3(suda) + KBr(suda) \longrightarrow ? \qquad (5.4)$$



(a) (b) (c)

◀ ŞEKİL 5-7
Gümüş iyodür çökeleği
$AgNO_3$'ün bir sulu çözeltisine **(a)**, NaI çözeltisine eklendiğinde **(b)**, çözünmeyen açık sarı ya da krem rengi AgI(k) çöker **(c)**.

Soruyu yanıtlamanın en iyi yolu (5.4) eşitliğini iyonik halde yazarak işe başlamaktır.

$$Ag^+(suda) + NO_3^-(suda) + K^+(suda) + Br^-(suda) \longrightarrow ? \qquad (5.5)$$

Burada iki olasılık vardır. Ya bazı anyon ve katyonlar bileşerek suda çözünmeyen bir katı (çökelek) verecek ya da böyle bir birleşme mümkün olmayacak ve çökelek oluşmayacaktır.

Laboratuvara girip deney yapmadan, hangi iyonik bileşiklerin suda çözünüp hangilerinin çözünmeyeceğini öngörmek için bazı bilgilere gereksinim vardır. Çözünürlükleri öngörmek için tam kapsamlı kurallar olmamakla beraber, yaygın iyonik katıların büyük bir kısmı için Çizelge 5-1' de verilen çözünürlük kılavuzunu kullanabiliriz.

▶ İlke olarak bütün iyonik bileşikler, çok az olmakla birlikte, bir dereceye kadar suda çözünürler. Pratikte, eğer maksimum çözünebilen miktar yaklaşık olarak 0,01 mol/L'den daha az ise o bileşiği çözünmez olarak kabul ederiz.

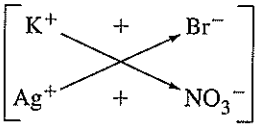
ÇİZELGE 5.1 Yaygın İyonik Katılar için Çözünürlük Kılavuzu

Aşağıdaki sıralamaya göre, iki yol gösterme birbirine zıt düşerse daha küçük numaralı olanı geçerli sayınız. Bu çoğu durumda doğru öngörüyü sağlar.

1. Grup 1 katyonlarının (bazı Li^+ bileşikleri hariç) ve NH_4^+ katyonunun tuzları suda çözünürler.
2. Nitratlar, perkloratlar ve asetatlar suda çözünürler.
3. Gümüş, kurşun ve civa (I) tuzları suda çözünmezler.
4. Klorürler, iyodürler ve bromürler suda çözünürler.
5. Karbonatlar, fosfatlar, hidroksitler, oksitler ve sülfürler suda çözünmezler (Grup 2 katyonlarının sülfürleri ve Ca^{2+}, Sr^{2+} ve Ba^{2+}' nin hidroksitleri suda az çözünürler).
6. Sülfatlar (kalsiyum, stronsiyum ve baryum sülfatlar hariç) suda çözünürler.

UNUTMAYINIZ

İki iyonik bileşik bir çökelek meydana getirirken iyonlarını karşılıklı olarak değiştirirler. Örneğin, KBr ve $AgNO_3$' den AgBr' nin oluşumunda aşağıdaki gibi karşılıklı bir değiş tokuş olur.



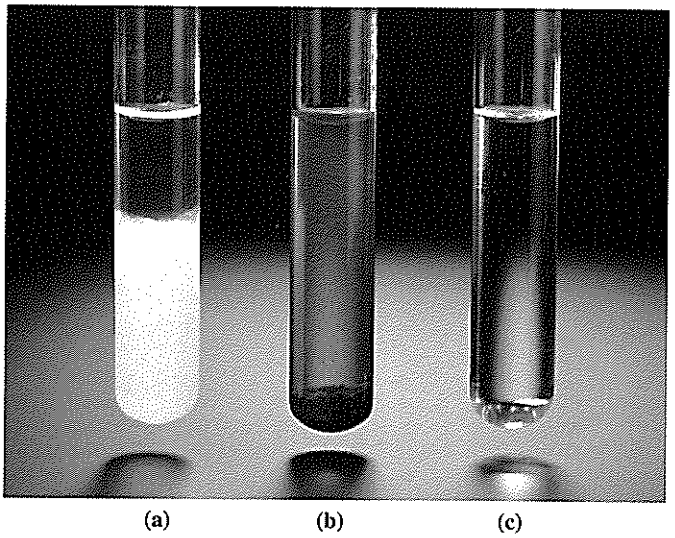
Bu kılavuza göre, AgBr(k) suda çözünmez (çünkü 3. yol gösterme 4'den öncelikli) ve çökmelidir. Diğer taraftan KNO_3(k) (yol gösterme 1) suda çözünür. Bu durumda (5.5) denklemi için iyonik eşitlik aşağıdaki gibi yazılır:

$$Ag^+(suda) + NO_3^-(suda) + K^+(suda) + Br^-(suda) \longrightarrow AgBr(k) + K^+(suda) + NO_3^-(suda)$$

Net iyonik eşitlik ise şöyledir.

$$Ag^+(suda) + Br^-(suda) \longrightarrow AgBr(k) \qquad (5.6)$$

Çökelme tepkimeleri ile ilgili Örnek 5-2'de yapılan üç öngörü, Şekil 5-8'de deneysel olarak doğrulanmaktadır.



▶ ŞEKİL 5-8
Örnek 5-2 de yapılan öngörülerin doğrulanması
(a) NaOH(suda), $MgCl_2$(suda) çözeltisine eklenirse beyaz $Mg(OH)_2$(k) çökeleği oluşur. (b) Renksiz BaS(suda), mavi $CuSO_4$(suda) çözeltisine eklenirse koyu renkli bir çökelek oluşur. Bu çökelek beyaz $BaSO_4$(k) ile siyah CuS(k) karışımıdır; $CuSO_4$' ün bir miktar fazlası çözeltide kalır. (c) Renksiz $(NH_4)_2SO_4$(suda) çözeltisine renksiz $ZnCl_2$(suda) çözeltisi eklenirse bir tepkime olmaz.

ÖRNEK 5-2 Çökelme Tepkimelerini Öngörmede Çözünürlük Kılavuzunun Kullanılması

Aşağıdaki durumlarda bir tepkime olur mu? Eğer tepkime olursa, net iyonik eşitlik nasıldır?

(a) $NaOH(suda) + MgCl_2(suda) \longrightarrow ?$

(b) $BaS(suda) + CuSO_4(suda) \longrightarrow ?$

(c) $(NH_4)_2SO_4(suda) + ZnCl_2(suda) \longrightarrow ?$

Analiz

(a), (b) ve (c) de verilen bileşiklerin hepsi suda çözünür ve çözeltide iyonlar meydana gelir. Çizelge 5-1'de verilen çözünürlük kılavuzuna göre, ilgili bileşiklerin anyon ve katyonlarının suda çözünen ya da çözünmeyen bileşikler oluşturup oluşturmayacağını belirleyiniz. Eğer yalnızca çözünen bileşikler oluşuyorsa tüm iyonlar ortamda kalır (tepkime olmaz). Eğer suda çözünmeyen bir bileşik oluşursa, bu bileşik çöker. Çökelme tepkimesinin net iyonik eşitliği, gözlemci iyonların yok edilmesi ile elde edilir.

Çözüm

(a), (b) ve (c) şıklarının her biri için yukarıda açıklanan yolları uygulayınız.

(a) Sulu çözeltide NaOH'dan oluşan Na^+ ve OH^- iyonları ve $MgCl_2$'den oluşan Mg^{2+} ve Cl^- iyonları vardır. Na^+ ve Cl^- iyonlarının birleşmesiyle suda çözünen bir bileşik olan NaCl meydana gelir ve iyonları çözeltide kalır. Ancak, Mg^{2+} ve OH^- birleşmesi suda çözünmeyen $Mg(OH)_2$ bileşiğini verir. Buna göre tam iyonik eşitlik

$$2\,Na^+(suda) + 2\,OH^-(suda) + Mg^{2+}(suda) + 2Cl^-(suda) \longrightarrow Mg(OH)_2(k) + 2\,Na^+(suda) + 2\,Cl^-(suda)$$

yazılır. Gözlemci iyonlar yok edilirse

$$2\,OH^-(suda) + Mg^{2+}(suda) \longrightarrow Mg(OH)_2(k)$$

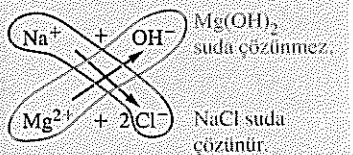
net iyonik eşitliği elde edilir.

(b) Sulu çözeltide BaS'den oluşan Ba^{2+}, S^{2-} iyonları ve $CuSO_4$'den oluşan Cu^{2+}, SO_4^{2-} iyonları vardır. Ba^{2+} ve SO_4^{2-} nin birleşmesiyle suda çözünmeyen $BaSO_4(k)$, Cu^{2+} ve S^{2-} nin birleşmesiyle yine suda çözünmeyen CuS(k) bileşiği meydana gelir. Buna göre tam iyonik eşitlik,

$Ba^{2+}(suda) + S^{2-}(suda) + Cu^{2+}(suda) + SO_4^{2-}(suda) \longrightarrow BaSO_4(k) + CuS(k)$

şeklinde yazılır. Gözlemci iyonlar olmadığı için bu eşitlik aynı zamanda net iyonik eşitliktir.

(c) Çözeltide NH_4^+, SO_4^{2-}, Zn^{2+} ve Cl^- iyonları vardır. Pozitif ve negatif iyonların olası birleşmesiyle suda çözünen bileşikler meydana gelir ve bütün iyonlar çözeltide kalır. Tepkime olmaz.



Değerlendirme

Bu tür problemler, **(a)** şıkkı için yanda gösterilen diyagramdaki yaklaşımla da çözülebilir.

Deneyim kazandıkça, gözlemci iyonları içeren iyonik eşitliği yazmadan doğrudan net eşitliğe geçebilirsiniz.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki tepkimeler için net iyonik eşitlikler yazarak çökelek oluşup oluşmayacağını gösteriniz. Tepkime oluşmuyorsa bu durumu belirtiniz.

(a) $AlCl_3(suda) + KOH(suda) \longrightarrow ?$

(b) $K_2SO_4(suda) + FeBr_3(suda) \longrightarrow ?$

(c) $CaI_2(suda) + Pb(NO_3)_2(suda) \longrightarrow ?$

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki bileşikler çözeltide karıştırıldığı zaman bir çökelek oluşup oluşmayacağını net iyonik eşitliklerle gösteriniz. Tepkime olmuyorsa belirtiniz.

(a) sodyum fosfat + alüminyum klorür $\longrightarrow$?

(b) alüminyum sülfat + baryum klorür $\longrightarrow$?

(c) amonyum karbonat + kurşun nitrat $\longrightarrow$?

5-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Çizelge 5.1 deki çözünürlük kılavuzunu kullanarak aşağıda verilen katıların suda çözünüp çözünmediğini öngörürüz. Hangileri için bu çözünürlük kılavuzu yetersizdir? **(a)** $Al_2(SO_4)_3$; **(b)** $Cr(OH)_3$; **(c)** K_3PO_4; **(d)** Li_2CO_3; **(e)** ZnS; **(f)** $Mg(MnO_4)_2$; **(g)** $AgClO_4$; **(h)** $CaSO_4$; **(i)** PbO.

5-1 MERAK EDİYORSANIZ...

AgCl gibi az çözünen iyonik bir bileşik kuvvetli bir elektrolit mi, yoksa zayıf bir elektrolit midir?

Gümüş klorür, (AgCl), iyonik bir bileşiktir. AgCl suda çözündüğünde Ag^+ ve Cl^- iyonlarına %100 ayrışır ve ortamda AgCl iyon çifti yoktur. Sadece iyonlaşma derecesi üzerine yoğunlaşırsak, HCl gibi AgCl de kuvvetli bir elektrolittir.

Kuvvetli elektrolit, daha pratik olarak, suda çözündüğünde çözeltisi elektriği iyi iletir şeklinde tanımlanmıştı. AgCl' nin sudaki çözünürlüğü çok düşük olduğu için (yaklaşık 1×10^{-5} mol/L), AgCl çözeltisi elektriği iyi iletmez.

Bugün, pek çok kimyacı AgCl' nin kuvvetli bir elektrolit olduğunu ileri sürerken (çünkü sulu çözeltide %100 ayrışır), bazıları zayıf bir elektrolit olduğunu söyleyebilir (çünkü sulu çözeltisi elektriği iyi iletmez).

Kimyacıların AgCl' ye kuvvetli elektrolitmi yoksa zayıf elektrolit denmelidir konusunda aynı görüşte olmamaları önemli midir? Kesinlikle hayır, çünkü bütün kimyacılar, şu gerçekler için aynı görüştedir: (1) AgCl suda gerçekten %100 ayrışır; (2) AgCl' nin sadece az bir miktarı suda çözünür; ve (3) AgCl' nin sulu çözeltisi elektriği iyi iletmez.

5-3 Asit-Baz Tepkimeleri

Asitler ve bazlar (alkaliler) çok eski çağlardan beri bilinmektedir. *Asit* sözcüğü *acidus (ekşi)* sözcüğünden gelmektedir. *Alkali* (baz) sözcüğü ise Arapça *al-gali* den türemiştir. Asit ve baz kavramı kimya tarihinde önemli bir yer tutar. Bu kesimde 1884' te Svante Arrhenius tarafından ileri sürülen asit-baz kavramı üzerinde durulacaktır. Thomas Lowry ve Johannes Brønsted tarafından 1923 yılında geliştirilen daha modern bir kuram ise kitabın daha sonraki bölümlerinde incelenecektir.

Asitler

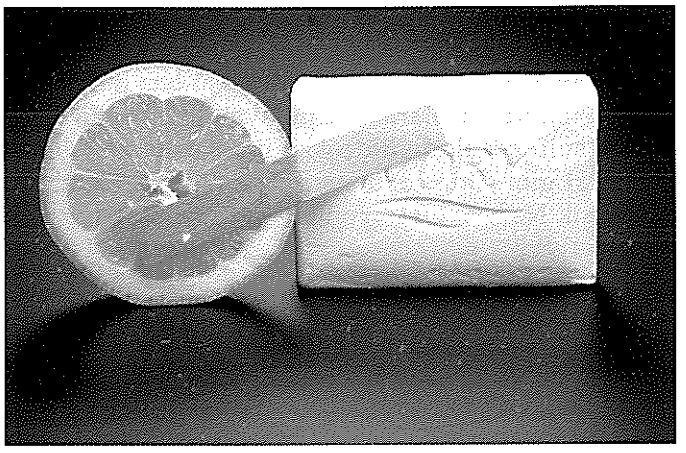
Asitleri, pratik olarak, ekşi tatta, bazı metaller ve karbonat mineralleri ile tepkimeye girebilen ve *asit-baz indikatörleri* denen maddelerde renk değişimi sağlayan kimyasal maddeler diye tanımlayabiliriz. Metil kırmızısı bir asit-baz indikatörüdür ve asidik ortamda kırmızı, bazik ortamda ise sarı renkte görünür (bak Şekil 5-9). Kimyacı açısından bakıldığında, asit sulu çözeltide hidrojen iyonu (H^+) veren bir madde olarak tanımlanabilir. Bu tanım 1884'te Svante Arrhenius tarafından önerilmiştir.

UNUTMAYINIZ

H^+(suda) gerçekte hidratlaşmış bir protondur. Bir protonun bir H_2O molekülüne bağlanmasıyla H_3O^+ ya da birkaç H_2O molekülüne bağlanmasıyla, $H_9O_4^+$ meydana gelir.

Sulu çözeltide farklı asitler farklı oranda H^+ iyonu verme eğilimindedirler. **Kuvvetli asitler**de bu eğilim yüksektir. Kuvvetli asitler molekül yapılı bileşiklerdir ve suda tamamen iyonlaşarak ortama H^+ iyonu verirler. Örneğin hidrojen klorür (HCl) ve nitrik asit (HNO_3) kuvvetli asitlere örneklerdir. HCl suda çözündüğünde tamamen H^+(suda) ve Cl^- (suda) iyonlarına ayrışır.

$$HCl(suda) \longrightarrow H^+(suda) + Cl^-(suda) \qquad (5.7)$$



◀ ŞEKİL 5-9
Asit, baz ve asit-baz indikatörü
Limon suyunun asidik özelliği, bir asit-baz indikatörü olan metil kırmızısının kırmızı renk vermesi ile gösterilmiştir. Sabunun bazik özelliği ise metil kırmızısı indikatörünün kırmızı renginin sarıya dönmesi ile anlaşılır.

Nitrik asit de suda çözündüğünde tamamen iyonlaşır ve H^+(suda) ve NO_3^-(suda) iyonları meydana gelir. HCl ve HNO_3 gibi kuvvetli asitlerin sayısı oldukça sınırlıdır. Yaygın kuvvetli asitlerin listesi Çizelge 5-2'de verilmiştir. Bu listeyi unutmamanız gerekir.

Zayıf asitler, H^+ iyonu verme eğilimleri düşük olan molekül yapılı bileşiklerdir; zayıf asitler sulu çözeltilerinde tamamen iyonlaşmazlar. Asitlerin büyük bir çoğunluğu zayıf asitlerdir. Zayıf asitlerin iyonlaşması en iyi, tersinir bir denge tepkimesi ile gösterilir. Sayfa 155'de verildiği gibi zayıf bir asit olan asetik asidin iyonlaşması aşağıdaki gibidir.

$$CH_3COOH(suda) \rightleftharpoons H^+(suda) + CH_3COO^-(suda) \qquad (5.8)$$

Eşitlik (5.8) için şu yorumlar yapılabilir: sulu çözeltilerde, CH_3COOH moleküllerinden ancak bir kısmı iyonlaşarak H^+ ve CH_3COO^- iyonlarını meydana getirirler. İyonlaşma miktarı hesaplanabilir, ancak hesaplama basit değildir. Bu hesaplamalara Bölüm 16'da değinilecektir.

Arrhenius asit-baz kuramını temel alan (5.7) ve (5.8) eşitlikleri, sizi asitlerin sulu çözeltilerde H^+ iyonu ve karşıt anyona iyonlaştıkları düşüncesine götürebilir. Ancak, birçok deneysel veriler bu düşüncenin doğru olmadığını kanıtlamaktadır. 1923'de Danimarka'da Johannes Brønsted ve İngiltere'de Thomas Lowry birbirlerinden bağımsız olarak asit (ve baz) özelliklerinin temel kaynağının bir H^+ iyonunun (bir proton) bir maddeden bir başkasına aktarımına bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Örneğin, asitler suda çözündüklerinde aşağıda HCl ve CH_3COOH'da görüldüğü gibi, H^+ iyonları asit molekülünden su molekülüne aktarılır.

$$HCl(suda) + H_2O(s) \longrightarrow H_3O^+(suda) + Cl^-(suda) \qquad (5.9)$$

$$CH_3COOH(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + CH_3COO^-(suda) \qquad (5.10)$$

(5.9) ve (5.10) eşitliklerinde asit molekülleri proton verici, su molekülleri ise proton alıcı olarak davranmaktadırlar. Brønsted-Lowry kuramına göre asit **proton verici**dir.

Asitlerin iyonlaşma tepkimelerinde suyun yazılması tercihe bağlıdır. Bazı kimyacılar, (5.7) ve (5.8) eşitliklerinde yaptığımız gibi suyu yazmazlar. Eğer suyu yazmak isterseniz, çözeltide H^+ iyonunun serbest proton şeklinde olmadığını ve su molekülüne sıkıca bağlanıp H_3O^+ şeklinde yazılması gerektiğini hatırlamalısınız. Hatta H_3O^+ iyonu da Şekil 5-5'de görüldüğü gibi daha da hidratlaşmış olabilir. Birçok kimyacı, bizim (5.9) ve (5.10) eşitliklerinde yaptığımız gibi, protonun asit molekülünden su molekülüne aktarıldığını vurgulamak için suyu yazmayı tercih ederler.

ÇİZELGE 5.2 Yaygın Bazı Kuvvetli Asitler ve Kuvvetli Bazlar

Asitler	Bazlar
HCl	LiOH
HBr	NaOH
HI	KOH
$HClO_4$	RbOH
HNO_3	CsOH
H_2SO_4[a]	$Ca(OH)_2$
	$Sr(OH)_2$
	$Ba(OH)_2$

[a] H_2SO_4 iki basamakta iyonlaşır; sadece birinci iyonlaşma basamağında kuvvetli bir asittir (bak Kesim 16-6).

UNUTMAYINIZ
Hidrojen atomunda bir proton ve bir elektron vardır. Bu nedenle H^+ iyonu sadece bir protondur.

Bazlar

Pratikte bazları acı tatta, kayganlık duygusu veren ve asit-baz indikatörlerinin rengini değiştiren maddeler olarak tanımlayabiliriz (Şekil 5-6). Arrhenius tanımına göre sulu çözeltide hidroksit iyonları (OH^-) veren maddeye **baz** denir. NaOH gibi suda çözünen bir iyonik hidroksiti ele alalım. Katı halde bu bileşik Na^+ ve OH^- iyonları içerir ve suda çözündüğü zaman, bu iyonlar ayrışır.

$$NaOH(suda) \longrightarrow Na^+(suda) + OH^-(suda)$$

Bu eşitlik NaOH(suda) türünün Na^+(suda) ve OH^-(suda) şeklinde gösterileceğini ifade eder.

Sulu çözeltide tamamen (ya da tamamına çok yakın) iyonlaşan baza **kuvvetli baz** denir. Kuvvetli asitler gibi, yaygın kuvvetli bazların sayısı da çok fazla değildir (bak Çizelge 5-2). Bunlar genelde grup 1 ve bazı grup 2 hidroksitleridir. Bu listeyi unutmayınız.

Bazı bileşikler suda çözünerek değil, su ile tepkimeye girerek OH^- verirler. Örneğin, NH_3 bu tür bileşiklerdendir.

$$NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda) \qquad (5.11)$$

NH_3 zayıf bir elektrolittir; suda iyonlaşması tam olmaz. Sulu çözeltide tamamen iyonlaşmayan bazlara **zayıf bazlar** denir. Bazik bileşiklerin büyük bir çoğunluğu zayıf bazdır.

UNUTMAYINIZ

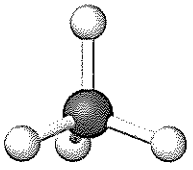
NH_4^+(suda) iyonu, H_2O molekülünden bir protonun NH_3 molekülüne aktarılması ile oluşur. NH_4^+ hidronyum iyonu gibi aynı şekilde su ile etkileşir. Aşağıda amonyum iyonunun top-ve-çubuk modeli görülmektedir.

(5.11) eşitliğini Brønsted-Lowry kuramına göre incelersek, bir bileşiğin proton aldığını, diğer bir bileşiğin ise proton verdiğini görürüz. Bu kurama göre, (5.11) eşitliğinde görüldüğü gibi, NH_3 bir **proton alıcı**, yani bir Brønsted-Lowry bazı ve H_2O proton verici, yani bir Brønsted-Lowry asididir.

Asidik ve Bazik Çözeltiler

Suda çözündüğünde H^+ iyonları oluşturan bileşiklere asit, OH^- iyonları oluşturan bileşiklere de baz denildiğini gördük. Ancak, deneyler, saf suda bile az sayıda H^+ ve OH^- iyonlarının bulunduğunu göstermektedir. Aşağıda verilen tepkime, saf suda çok az gerçekleştiği için tek ok ($\longrightarrow$) yerine çift ok ($\rightleftharpoons$) kullanılır. Çünkü bu tepkime bir denge tepkimesidir.

$$H_2O(s) \rightleftharpoons H^+(suda) + OH^-(suda)$$



Amonyum iyonu

Dikkatli ölçümler 25 °C da, $[H^+]_{su} = [OH^-]_{su} = 1{,}0 \times 10^{-7}$ M olduğunu göstermiştir. (Köşeli parantezlerdeki alt indisler bu değerlerin sadece saf su için geçerli olduğunu vurgulamak amacıyla yazılmıştır.) Bir asit çözeltisinde, asit çözeltiye H^+ iyonları vereceği için 25 °C da $[H^+] > 1{,}0 \times 10^{-7}$ M olacaktır. Bu tür çözeltilere *asidik* çözeltiler denir. Bir asidik çözeltide H^+ iyonlarının derişimi saf suda olduğundan çok daha büyüktür. Bir baz çözeltisinde, baz çözeltiye OH^- iyonları vereceği için, 25 °C da $[OH^-] > 1{,}0 \times 10^{-7}$ M olacaktır. Bu tür çözeltilere de *bazik* çözeltiler adı verilir. Bunlar aşağıda özetlenmiştir.

Asidik çözeltide: $[H^+] > [H^+]_{su}$

Bazik çözeltide: $[H^+] > [OH^-]_{su}$

Yukarıdaki kavramlar bir başka şekilde de ifade edilebilir. Asidik çözeltide H^+ iyonlarının aşırısı (saf su ile karşılaştırıldığında), bazik çözeltide ise OH^- iyonlarının aşırısı vardır. Bunları Kesim 5-5 de kullanacağız ve Bölüm 16 da tekrar karşılaşacağız.

Nötürleşme

Belki de asit ve bazların en belirgin özelliği birbirlerini yok etme ya da özelliklerini nötürleştirme yeteneğidir. **Nötürleşme tepkimesi**nde bir asit ve bir baz tepkimeye girerek, su ve iyonik bir bileşik olan **tuz**un sulu çözeltisini meydana getirir. Aşağıdaki molekül eşitliğini yazıp,

$$HCl(suda) + NaOH(suda) \longrightarrow NaCl(suda) + H_2O(s)$$
$$(asit) \quad + \quad (baz) \quad \longrightarrow \quad (tuz) \quad + \quad (su)$$

iyonik eşitliğe dönüştürelim.

$$\underbrace{H^+(suda)+Cl^-(suda)}_{(asit)} + \underbrace{Na^+(suda)+OH^-(suda)}_{(baz)} \longrightarrow \underbrace{Na^+(suda)+Cl^-(suda)}_{(tuz)} + \underbrace{H_2O(s)}_{(su)}$$

Gözlemci iyonlar yok edildiğinde, net iyonik eşitlik, kuvvetli bir asidin kuvvetli bir bazla nötürleşmesinin temelini gösterir: asitten gelen H^+ iyonları ile bazdan gelen OH^- iyonları su oluşturmak üzere birleşir.

$$H^+(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow H_2O(s)$$

Zayıf bir baz olan $NH_3(suda)$ nötürleşmesinde, asitten gelen H^+ iyonunun, $NH_4^+(suda)$ oluşturmak üzere doğrudan NH_3 molekülleriyle birleştiğini düşünebiliriz. Bu nötürleşme iyonik eşitlikle:

$$\underbrace{H^+(suda) + Cl^-(suda)}_{(asit)} + \underbrace{NH_3(suda)}_{(baz)} \longrightarrow \underbrace{NH_4^+(suda) + Cl^-(suda)}_{(tuz)}$$

ya da net iyonik eşitlikle gösterilebilir.

$$H^+(suda) + NH_3(suda) \longrightarrow NH_4^+(suda)$$

Yukarıda verilen nötürleşme tepkimelerinin hepsi kuvvetli bir asit, ya da kuvvetli bir baz içermektedir. Bu tür tepkimelerde, sınırlayıcı bileşen tükenince tepkime sonlanır. Bu nedenle bu tepkimelerin eşitliklerinde çift ok ($\rightleftharpoons$) değil tek ok ($\longrightarrow$) kullanılır.

◀ $NH_3(suda)$ formülü bazen NH_4OH (amonyum hidroksit) şeklinde yazılır ve iyonlaşması şöyle verilir.

$NH_4OH(suda) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda)$

Buna karşılık NH_4OH ın varlığına dair güçlü bir kanıt yoktur. Ancak bu yazılış NH_4^+ ve OH^- iyonlarını kolayca görmemizi sağlar. Biz sadece $NH_3(suda)$ formülünü kullanacağız.

Asit ve Bazların Anlaşılması

Asitlerin içerdiği *iyonlaşabilen* hidrojen atomları, genellikle asit formülünün yazılışında belirtilir. İyonlaşabilen hidrojen atomlarının, formüldeki diğer hidrojen atomlarından ayırt edilebilmesi için, bunlar ya molekül formülünün ilk kısmına ya da molekülde nerede bulundukları belirtilerek yazılmalıdır. Bu nedenle asetik asit molekülünde iyonlaşabilen bir H atomunun bulunduğunu ve diğer üç H atomunun iyonlaşamayacağını gösterebilmenin iki yolu vardır.

$$\underbrace{HC_2H_3O_2 \text{ ya da } CH_3COOH}_{\text{asetik asit}}$$

Asetik asidin tersine, metanda dört tane H atomu vardır fakat bunlar iyonlaşmaz. CH_4 ne asit ne de bazdır.

Formülünde, metale bağlı OH^- iyonları bulanan bileşikler genellikle kuvvetli bazdır (örneğin, NaOH). Zayıf bir bazı göstermek için, 5.11 eşitliğindeki gibi bir iyonlaşma tepkimesine gerek vardır. Zayıf bir baz olarak şimdilik NH_3'ü inceleyeceğiz. Etanolün, CH_3CH_2OH, bir baz olmadığına dikkat ediniz. Hem saf etanol, hem de sulu çözeltisinde OH grubu OH^- şeklinde değildir.

Başka Asit-Baz Tepkimeleri

$Mg(OH)_2$ bileşiği OH^- içerdiğinden bir bazdır. Ancak bu bileşik suda çok az çözünür. Çok küçük katı parçacıklarının sudaki süspansiyonu iyi bilinen magnezya sütüdür ve antiasit olarak kullanılır. $Mg(OH)_2(k)$, süspansiyonda OH^- vererek çok az çözünür. Eğer ortama bir asit eklenirse, asitten gelen H^+, bu OH^- ile nötürleşerek su oluşturur. Çözeltide daha fazla OH^- iyonu oluşması için yeniden bir miktar $Mg(OH)_2(k)$ çözünür. H^+ iyonu eklendikçe çözünme devam eder ve $Mg(OH)_2(k)$ in tamamen çözünmesi sağlanır.



▲ ŞEKİL 5-10
Asit yağmurunun verdiği hasar
Bu mermer heykel asit yağmuru ile aşınmıştır. Mermerin başlıca bileşeni $CaCO_3$ dır. Mermer 5.14 eşitliğinde gösterildiği gibi, asitlerle tepkimeye girer ve çözünür.

$Mg(OH)_2(k)$ in kuvvetli bir asitle verdiği tepkimenin net iyonik eşitliği

$$Mg(OH)_2(k) + 2\,H^+(suda) \longrightarrow Mg^{2+}(suda) + 2\,H_2O(s) \qquad (5.12)$$

şeklinde yazılır. $Mg(OH)_2(k)$ benzer şekilde, zayıf bir asit olan asetik asitle de tepkimeye girer. Net iyonik eşitlikte, asetik asit molekül yapısında yazılır. Ancak asetik asit çözeltisinde bir miktar H^+ ve CH_3COO^- iyonu da vardır. Bu H^+ iyonları (5.12) tepkimesinde gösterildiği gibi, OH^- iyonları ile tepkimeye girer. Bu da daha fazla CH_3COOH ın iyonlaşmasına neden olur. Tepkime böylece devam eder. Ortamda yeteri kadar asetik asit varsa $Mg(OH)_2$ tamamen çözünür. Tepkime eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$Mg(OH)_2(k) + 2\,CH_3COOH(suda) \longrightarrow Mg^{2+}(suda) + 2\,CH_3COO^-(suda) + 2\,H_2O(s) \qquad (5.13)$$

Kireç taşı ve mermerde bulunan kalsiyum karbonat, suda çözünmeyen ancak kuvvetli ve zayıf asitlerde çözünebilen diğer bir katıdır. Bu katının verdiği düşük derişimli CO_3^{2-} iyonları, H^+ iyonları ile birleşerek zayıf bir asit olan H_2CO_3'ü meydana getirir. Bu ise katının daha da fazla çözünmesine neden olur. Karbonik asit (H_2CO_3) çok kararsız bir bileşiktir ve kolaylıkla $CO_2(g)$ ve H_2O ya bozunur. $CaCO_3(k)$ ile bir asidin tepkimesi aşağıdaki net iyonik eşitlikle verilmiştir.

$$CaCO_3(k) + 2\,H^+(suda) \longrightarrow Ca^{2+}(suda) + H_2O(s) + CO_2(g) \qquad (5.14)$$

Böylece, $CaCO_3(k)$ asitle tepkimeye girdiğinde çözünür ve bir gaz çıkışı olur. (5.14) eşitliğinde verilen tepkime, Şekil 5-10'da görülen mermer heykelin asit yağmurları ile aşınmasından sorumludur. Eşitlik (5.14), $CaCO_3$'ın asitleri de nötürleştirebileceğini göstermektedir. Kalsiyum karbonatın da magnezyum hidroksit gibi antiasit olarak kullanılabilmesi şaşırtıcı değildir.

Arrhenius tanımı yalnızca OH^- iyonunu baz olarak kabul etmektedir. Ancak, Bölüm 16'da asit ve bazları tekrar daha ayrıntılı ele aldığımızda, modern kuramların CO_3^{2-} ve OH^- dahil, diğer pek çok anyonu baz olarak kabul ettiğini göreceğiz. Çizelge 5-3'de asit-baz tepkimesi sonucu gaz çıkışı veren başlıca anyon ve katyonlar listelenmiştir.

ÇİZELGE 5.3 Gaz Çıkışı Veren Başlıca Tepkimeler

İyon	Tepkime
HSO_3^-	$HSO_3^- + H^+ \longrightarrow SO_2(g) + H_2O(s)$
SO_3^{2-}	$SO_3^{2-} + 2\,H^+ \longrightarrow SO_2(g) + H_2O(s)$
HCO_3^-	$HCO_3^- + H^+ \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(s)$
CO_3^{2-}	$CO_3^{2-} + 2\,H^+ \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(s)$
S^{2-}	$S^{2-} + 2\,H^+ \longrightarrow H_2S(g)$
NH_4^+	$NH_4^+ + OH^- \longrightarrow NH_3(g) + H_2O(s)$

ÖRNEK 5-3 Asit–Baz Tepkimeleri için Eşitliklerinin Yazılması

(a) Sulu stronsiyum hidroksitin çözeltisi ile nitrik asidin; **(b)** Katı aluminyum hidroksit ile hidroklorik asidin tepkimelerini net iyonik eşitliklerle yazınız.

Analiz

Bu tepkimeler nötürleşme tepkimeleridir, yani asit + baz ⟶ tuz + su şeklindedir. Önce bütün bileşiklerin formüllerini içeren eşitliği yazıp, bunu iyonik eşitliğe çevirebiliriz. Sonra da gözlemci iyonları silerek net iyonik eşitliğe ulaşırız.

Çözüm

(a) $HNO_3(suda) + Sr(OH)_2(suda) \longrightarrow ?$

İyonik hal:

$2\,H^+(suda) + 2\,NO_3^-(suda) + Sr^{2+}(suda) + 2\,OH^-(suda) \longrightarrow Sr^{2+}(suda) + 2\,NO_3^-(suda) + 2\,H_2O(s)$

Net iyonik eşitlik: Gözlemci iyonları (Sr^{2+} ve NO_3^-) siliniz.

$$2\,H^+(suda) + 2\,OH^-(suda) \longrightarrow 2\,H_2O(s)$$

ya da daha basit,

$$H^+(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow H_2O(s)$$

(b) $Al(OH)_3(k) + HCl(suda) \longrightarrow ?$

İyonik hal:

$$Al(OH)_3(k) + 3\,H^+(suda) + 3\,Cl^-(suda) \longrightarrow Al^{3+}(suda) + 3\,Cl^-(suda) + 3\,H_2O(s)$$

Net iyonik eşitlik: Gözlemci iyonu siliniz (Cl^-).

$$Al(OH)_3(k) + 3\,H^+(suda) \longrightarrow Al^{3+}(suda) + 3\,H_2O(s)$$

Değerlendirme

(a) şıkkında net iyonik eşitlik, suda çözünen kuvvetli bir asit ve suda çözünen kuvvetli bir baz arasındaki nötürleşme tepkimelerinde olduğu gibi, $H^+(suda) + OH^-(suda) \rightarrow H_2O(s)$ şeklindedir. **(b)** şıkkında ise baz suda çözünmediği için net iyonik eşitlikte katı şeklinde yer alır.

ALIŞTIRMA A: Sulu amonyak çözeltisinin propiyonik asitle (CH_3CH_2COOH) tepkimesini net iyonik eşitlikle yazınız. Nötürleşme tepkimesinin tamamlandığını kabul ediniz. Tepkime sonunda oluşan tuzun formülü ve adı nedir?

ALIŞTIRMA B: Kalsiyum karbonat sert suyun ana bileşenidir. Çaydanlık ve otomatik kahve cezvelerinin dibinde birikir. Bu tip birikintileri uzaklaştırmak için seyreltik bir asit çözeltisi olan sirke kullanılır. Bu tepkimenin net iyonik eşitliğini yazınız. Tepkimenin tamamlandığını varsayınız.

5-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Dört katı: K_2CO_3, CaO, $ZnSO_4$, $BaCO_3$,ve üç çözücü: $H_2O(s)$, HCl(suda), H_2SO_4(suda) verilmiştir. Sizden dört katyondan birini içeren dört ayrı çözelti hazırlamanız istenmektedir [biri $K^+(suda)$ ile, biri $Ca^{2+}(suda)$ ile ve benzeri]. Su *ilk* tercih ettiğiniz çözücü olsun. Her bir çözeltiyi hazırlamak için hangi çözücüyü kullanırsınız? Tercihinizi açıklayınız.

5-4 Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri: Bazı Genel İlkeler

◀ Metaller filiz denilen minerallerden elde edilirler. Birçok metal filizi oksitler şeklindedir ve metaller bu oksitlerden oksijenin uzaklaştırılmasıyla elde edilirler.

Yükseltgenme-indirgenme tepkimelerinin pratik kullanımı, binlerce yıl öncesinde metal aletlerin yapıldığı ilk çağlara kadar dayanır. Aletler için gerekli olan metal, kuprit (Cu_2O) ve hematit (Fe_2O_3) gibi bakır ve demir filizlerinin karbon varlığında ısıtılmasıyla elde edilmiştir. O çağlardan

beri demir bütün metaller içerisinde en çok kullanılandır ve Fe_2O_3'ün karbon ile yüksek fırında ısıtılmasıyla üretilmektedir. Bu tepkime için basitleştirilmiş kimyasal eşitlik aşağıda verilmiştir.

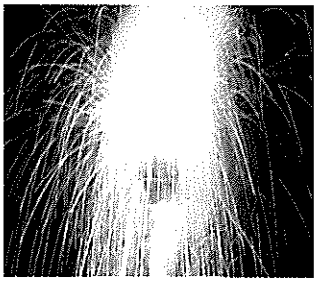
▶ Yüksek fırında kok kömüründeki karbon, CO'ya dönüşür ve sonra bu CO, Fe_2O_3 ile tepkimeye girer.

$$Fe_2O_3(k) + 3\,CO(g) \xrightarrow{\Delta} 2\,Fe(s) + 3\,CO_2(g) \qquad (5.15)$$

Bu tepkimede CO(g) nun Fe_2O_3 den O atomunu uzaklaştırarak $CO_2(g)$ yi ve serbest demiri oluşturduğunu düşünebiliriz. Maddelerin O atomlarını kazandığı tepkimeler için yaygın olarak *yükseltgenme*, O atomlarını yitirdiği tepkimeler için de *indirgenme* terimleri kullanılır. (5.15) tepkimesinde CO(g) yükseltgenmiş, $Fe_2O_3(k)$ indirgenmiştir. Yükseltgenme ve indirgenme mutlaka bir arada olur ve böyle tepkimeler **indirgenme-yükseltgenme tepkimeleri** veya **redoks tepkimeleri** olarak adlandırılır. Ayrıca Fe_2O_3 den oksijen, iyice öğütülmüş Fe_2O_3 ve Al karışımının kavrulması ile de uzaklaştırılabilir. Bu tepkime Şekil 5-11 deki gibi muhteşem bir görüntü verir ve tepkime de açığa çıkan ısı demirin erimesine neden olur. Bu işlem demiryollarının kaynaklanmasında kullanılır.

▶ Kolaylığından ötürü, yükseltgenme-indirgenme yerine sıklıkla *redoks* terimi kullanılır.

İndirgenme ve yükseltgenmeyi yalnızca O atomu alışverişine göre yapmak çok kısıtlayıcı bir tanımlamadır. Daha geniş tanımlar kullanarak, sözgelimi, çözeltideki pek çok tepkimeye de, hiç oksijen olmasa bile, indirgenme-yükseltgenme tepkimesi diyebiliriz.



▲ ŞEKİL 5-11
Termik tepkime
Demir(III) oksitteki demir atomları O atomlarını Al atomlarına verir ve Al_2O_3 meydana gelir.

$Fe_2O_3(k) + 2\,Al(k) \longrightarrow Al_2O_3(k) + 2\,Fe(s)$

Yükseltgenme Basamağı Değişmeleri

(5.15) eşitliğini yeniden yazarak, her iki taraftaki elementlerin yükseltgenme basamaklarını (Y.B.) sayfa 85'de verilen kuralları kullanarak bulalım.

$$\overset{+3\ -2}{Fe_2O_3} + 3\,\overset{+2\ -2}{CO} \longrightarrow 2\,\overset{0}{Fe} + 3\,\overset{+4\ -2}{CO_2}$$

Oksijenin Y.B. si bu eşitlikte görüldüğü her yerde –2'dir. Oysa demirin (kırmızı) Y. B. si değişir; burada +3 den 0 a *azalır*. Karbonun da Y.B. si (mavi) değişir. Karbonun Y.B. si +2 den +4 e *artar*. Öyleyse yükseltgenme işleminde bazı elementlerin Y.B. si artar, indirgenme işleminde ise Y.B. si azalır.

Her ne kadar yükseltgenme basamağı terimini molekül ya da iyondaki element için kullansak da yükseltgenen ve indirgenen birim, molekül ya da iyonun tamamıdır. Bu nedenle yukarıdaki tepkimede sadece Fe atomları değil, tüm Fe_2O_3 bileşiği indirgenmiş; C atomu değil CO yükseltgenmiştir.

ÖRNEK 5-4 Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimelerinin Tanınması

Aşağıdaki tepkimelerin indirgenme-yükseltgenme tepkimesi olup olmadığını belirtiniz.

(a) $MnO_2(k) + 4\,H^+(suda) + 2\,Cl^-(suda) \longrightarrow Mn^{2+}(suda) + 2\,H_2O(s) + Cl_2(g)$

(b) $H_2PO_4^-(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow HPO_4^{2-}(suda) + H_2O(s)$

Analiz

Eşitliklerin her iki tarafındaki elementlerin yükseltgenme basamaklarını bulunuz ve bir değişiklik olup olmadığını araştırınız.

Çözüm

(a) MnO_2 de Mn nin Y. B. si +4 den Mn^{2+} da +2 ye azalır. MnO_2, Mn^{2+} ya indirgenir. Tepkimenin her iki tarafında da O nun Y. B. si –2, H nin +1 dir. Cl nin Y. B. si ise Cl^- de –1 den Cl_2 de 0 a artar. Cl^-, Cl_2 ye yükseltgenir. Bu tepkime bir indirgenme-yükseltgenme tepkimesidir.

(b) H'nın Y. B. si eşitliğin her iki tarafında da +1 dir. O'nun Y. B. si değişmemiştir. Fosforun Y. B. si ise hem $H_2PO_4^-$ de hem de HPO_4^{2-} de +5 dir. Burada hiçbir Y. B. değişmesi olmadığından, tepkime bir indirgenme-yükseltgenme tepkimesi değildir. Yalnızca bir asit-baz tepkimesidir.

Değerlendirme

Birçok redoks tepkimesi H^+ ve OH^- iyonları veya çözünmeyen iyonik bileşikler içerdiğinden, redoks tepkimeleri ile asit-baz ya da çökelme tepkimeleri birbirlerine karıştırılabilir. Bu nedenle bütün tepkimenin tanımlanan özelliklerini hatırlamanız önemlidir. Çökelme tepkimelerinde çözeltideki iyonların birleşmesiyle çözünmeyen bir çökelek meydana gelir. Asit-baz tepkimelerinde proton (H^+) alışverişi söz konusudur. Redoks tepkimelerinde ise elektron alışverişi ve yükseltgenme basamaklarında değişmeler vardır.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki tepkimelerin yükseltgenme-indirgenme tepkimesi olup olmadıklarını bulunuz.

(a) $(NH_4)_2SO_4(suda) + Ba(NO_3)_2(suda) \longrightarrow BaSO_4(k) + 2\,NH_4NO_3(suda)$

(b) $2\,Pb(NO_3)_2(k) \longrightarrow 2\,PbO(k) + 4\,NO_2(g) + O_2(g)$

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki tepkimede hangi türlerin yükseltgendiğini ve hangi türlerin indirgendiğini belirleyiniz.

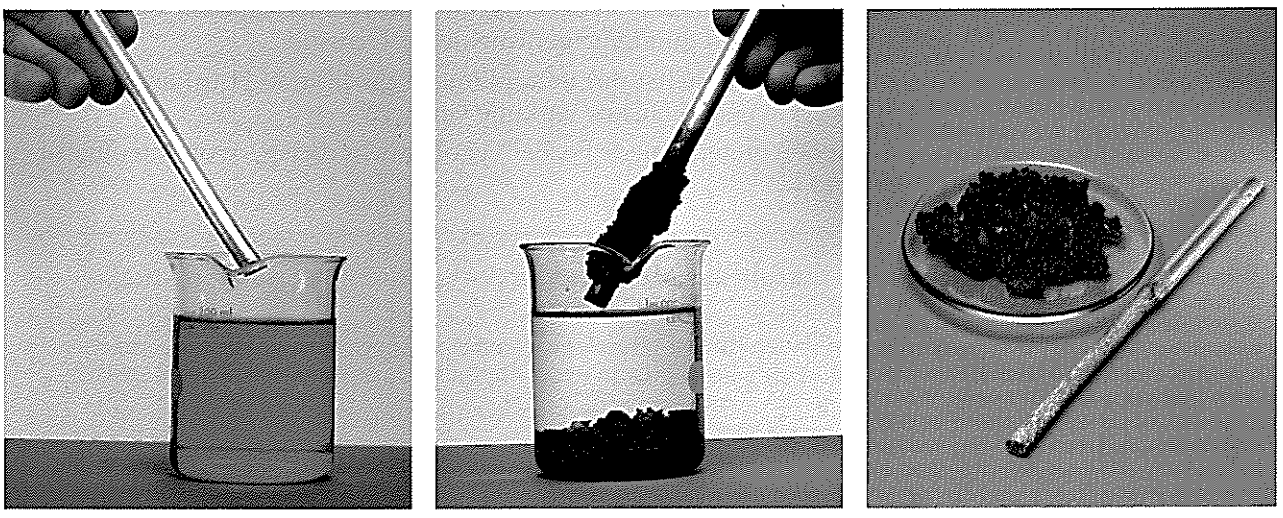
$$5\,VO^{2+}(suda) + MnO_4^-(suda) + H_2O \longrightarrow 5\,VO_2^+(suda) + Mn^{2+}(su) + 2\,H^+(suda)$$

Yükseltgenme ve İndirgenme Yarı-Tepkimeleri

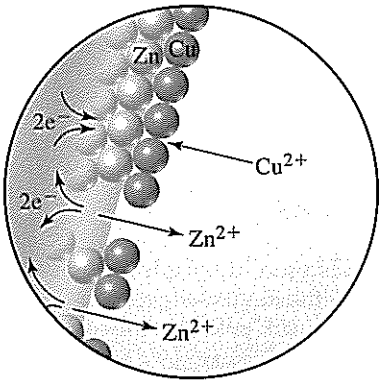
Şekil 5-12' de gösterilen tepkime bir yükseltgenme-indirgenme tepkimesidir. Tepkimenin kimyasal eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$Zn(k) + Cu^{2+}(suda) \longrightarrow Zn^{2+}(suda) + Cu(k)$$

Bu tepkimenin redoks tepkimesi olduğunu, yükseltgenme basamaklarındaki değişmeleri belirleyerek görebiliriz. Fakat indirgenme-yükseltgenme tepkimelerini incelemede kullanışlı olduğunu sandığımız başka bir yöntem daha vardır. Tepkime aynı zamanda oluşan iki **yarı-tepkime** (indirgenme ve yükseltgenme) şeklinde düşünülebilir. Net tepkime bu iki yarı-



(a) (b) (c)



▲ ŞEKİL 5-12
Bir Yükseltgenme İndirgenme Tepkimesi
(a) Çinko çubuk sulu bakır (II) sülfat çözeltisinin üstünde (daldırılmamış). **(b)** Zn çubuğun $CuSO_4$(suda) içine daldırılmasını izleyen birkaç saat sonra Cu^{2+}(suda) iyonunun mavi rengi yok olur ve çinko çubuk üzerine bakır birikir. Soldaki mikroskopik görünümde gri küreler Zn atomlarını, kırmızı küreler Cu atomlarını belirtir. Tepkimede Zn atomları elektronlarını metal yüzeyine terk ederek çözeltiye Zn^{2+} iyonları halinde geçerler. Cu^{2+} iyonları çözeltiden elektronları alır, katı bakır metal yüzeyinde birikir. **(c)** Yüzeyi aşınmış çinko çubuk (çinkonun kimyasal tepkimede harcandığının delili olarak) ve toplanan bakır metali.

tepkimenin toplamıdır. Yarı tepkimeleri yarı -eşitliklerle ve net tepkimeyi net eşitlikle gösterebiliriz.

Yükseltgenme: $Zn(k) \longrightarrow Zn^{2+}(suda) + 2\,e^-$ (5.16)

İndirgenme: $Cu^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Cu(k)$ (5.17)

Net: $Zn(k) + Cu^{2+}(suda) \longrightarrow Zn^{2+}(suda) + Cu(k)$ (5.18)

(5.16) yarı-tepkimesinde Zn yükseltgenmiştir: yükseltgenme basamağı 0 dan +2 ye artmıştır. Bu değişime göre her bir Zn(k) atomu $2e^-$ vermiştir. (5.17) yarı- tepkimesinde ise Cu^{2+} indirgenmiştir: yükseltgenme basamağı +2 den 0 a azalmıştır. Her bir Cu^{2+} iyonu $2e^-$ kazanmıştır. Özetlersek,

- **Yükseltgenme**, bazı elementlerin elektron yitirerek Y.B. *artması* işlemidir. Elektronlar yarı-eşitliğin *sağ* tarafında gösterilir.
- **İndirgenme**, bazı elementlerin elektron kazanarak Y.B. *azalması* işlemidir. Elektronlar yarı-eşitliğin *sol* tarafında gösterilir.
- Yükseltgenme ve indirgenme yarı-tepkimeleri daima bir arada yürümelidir ve yükseltgenmede verilen toplam elektron sayısı, indirgenmede alınan toplam elektron sayısına eşit olmalıdır.

Redoks tepkimeleri asit-baz tepkimelerine benzer ve her iki tepkimede de küçük, temel tanecikler yer alır. Asit-baz tepkimelerinde proton alışverişi, redoks tepkimelerinde elektron alışverişi vardır. Ancak, asit-baz tepkimeleri kolayca tanınabilir. Çünkü denkleştirilmiş kimyasal eşitlikte hidrojen atomları ve protonlar (H^+) açıkça görünürler. Redoks tepkimelerinin tanınması ise o kadar kolay değildir, çünkü elektronlar "gizli"dir. İndirgenme ve yükseltgenme tepkimelerini yarı–eşitliklerle yazarsak elektronlar açıkça görünür ve redoks tepkimesinde elektron alışverişinin kilit özelliği vurgulanmış olur.

Şekil 5-13 ve Örnek 5-5 yükseltgenme-indirgenme tepkimeleriyle ilgili bazı temel soruları gündeme getirmektedir. Örneğin,

- Neden Fe, HCl(suda) ile tepkimeye girdiğinde $H_2(g)$ açığa çıkarken, Cu neden HCl ile tepkime vermez?
- Neden bu tepkimede Fe, Fe^{2+} yi oluşturur da Fe^{3+} iyonunu oluşturmaz?

ÖRNEK 5-5 İndirgenme-Yükseltgenme Tepkimesinin Yarı-Eşitlikler ve Net Eşitlikle Gösterilmesi

Demirin hidroklorik asit çözeltisi ile tepkimeye girerek $Fe^{2+}(suda)$ ve $H_2(g)$ verdiği yükseltgenme ve indirgenme tepkimelerinin eşitliklerini ve tepkimenin net eşitliğini yazınız. Bu tepkime Şekil 5-13' de gösterilmiştir.

Analiz

Tepkimeye girenler Fe(k) ve HCl(suda), ürünler ise $H_2(g)$ ve suda çözünen $FeCl_2(suda)$ iyonik bileşiğidir. Tepkimede demirin yükseltgenme basamağı Fe de 0 dan $FeCl_2$ de +2 ye artarken, hidrojenin yükseltgenme basamağı HCl de +1 den H_2 de 0 a azalmaktadır. Böylece demir yükseltgenmiş, hidrojen indirgenmiştir.

Çözüm

Denkleştirilmiş kimyasal eşitlikler aşağıdaki gibidir.

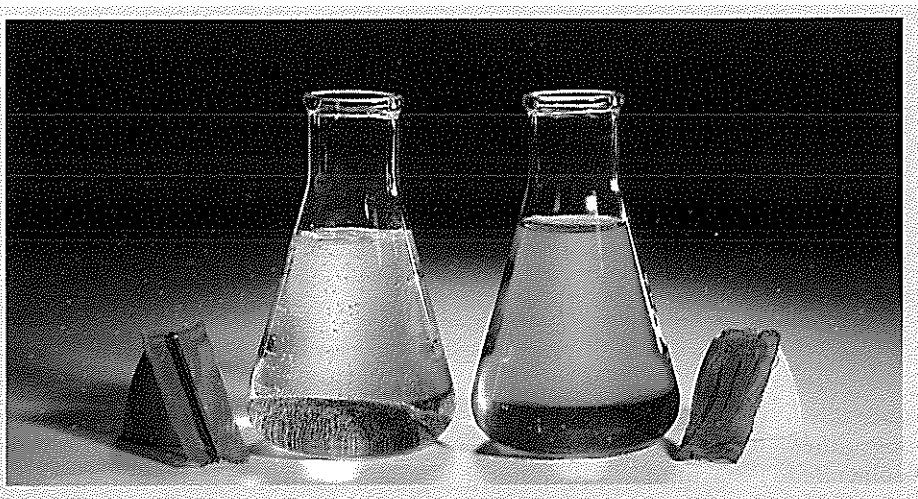
Yükseltgenme: $Fe(k) \longrightarrow Fe^{2+}(suda) + 2\,e^-$

İndirgenme: $2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow H_2(g)$

Net: $Fe(k) + 2\,H^+(suda) \longrightarrow Fe^{2+}(suda) + H_2(g)$

Değerlendirme

Bu örnek, demirin asit çözeltisinde çözündüğünü gösterir. Çeliğin temel bileşeni demirdir. Çeliğin hava ve nemin etkisinde korozyona uğraması yukarıdaki tepkimeye göre demirin yükseltgenmesiyle olur. Örneğin asit yağmurlarındaki H^+ demiri yükseltger ve çelik üzerinde küçük çukurlar meydana gelmesine neden olur.



(a) (b) (c)

▲ ŞEKİL 5-13

H^+(suda) iyonunun demir metali ile yer değiştirmesi — Örnek 5-5'in gösterilişi

(a) Bir demir çivi küçük bir bakır levhaya sarılır. **(b)** Çivi ve bakır birlikte HCl(suda) çözeltisine yerleştirilir. Demir çivi tepkimeye girer ve hidrojen gazı çıkar. **(c)** Demir tamamen tepkimeye girerek Fe^{2+}(suda) verir ve bakır değişmeden kalır.

ALIŞTIRMA A: Alüminyumun hidroklorik asitle tepkimesini, yükseltgenme ve indirgenme yarı-eşitlikleri ve net eşitlikle gösteriniz.

ALIŞTIRMA B: Klor gazının sulu sodyum bromür ile, sıvı brom ve sulu sodyum klorür oluşturduğu tepkimeyi, yükseltgenme-indirgenme yarı eşitlikleri ve net eşitlikle gösteriniz.

Şimdilik yanıtınızı, Fe ve Cu atomlarının göreceli olarak elektron verme yatkınlıklarının farklı olmasıyla açıklayabilirsiniz. Fe, Cu ya göre daha kolay elektron verir, ayrıca Fe^{2+} iyonuna Fe^{3+} iyonundan daha kolay yükseltgenir. Bu sorulara tam bir yanıt verebilmek için elektron verme ve elektron alma konusunda daha ayrıntılı bir standart ortaya koymak gerekir. Bu konuda daha kesin yanıtlar Bölüm 20 de verilmeye çalışılacaktır. Bu aşamada Çizelge 5-4 de verilen bilgiler size yardımcı olacaktır. Bu çizelgede bazı çok bilinen metallerin asitlerle tepkimeye girerek H_2 gazı açığa çıkardığı, bazılarının ise H_2 gazı açığa çıkarmadığı görülmektedir. Çizelgeden görüleceği gibi grup 1 ve grup 2 metallerinin çoğu soğuk su ile bile tepkimeye girerler ve $H_2(g)$ yanında metal hidroksit çözeltisi meydana gelir.

ÇİZELGE 5.4 Çok Bilinen Bazı Metallerin Yükseltgen Olmayan Asitlere Karşı Davranışı[a]

Tepkime ile $H_2(g)$ Verenler	Tepkime Vermeyenler
Alkali metaller (grup 1)[b]	Cu, Ag, Au, Hg
Toprak alkali metaller (grup 2)[b]	
Al, Zn, Fe, Sn, Pb	

[a] Yükseltgen olmayan asit (örneğin, HCl, HBr, HI) indirgenme yarı-tepkimesinde yalnızca H^+ iyonunu $H_2(g)$ ye indirgeyebilen asittir. Metal-asit tepkimelerindeki diğer olasılıklar Bölüm 21 de ayrıca görülecektir.

[b] Be ve Mg dışındaki bütün grup 1 ve grup 2 metalleri soğuk su ile tepkimeye girerek H_2 gazı açığa çıkarırlar; diğer ürün metal hidroksittir.

5-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki eşitliklerin denkleştirilmediğini göz ardı ederek her bir eşitlik olası bir tepkimeyi gösterir mi? Açıklayınız.

(a) $MnO_4^-(suda) + Cr_2O_7^{2-}(suda) + H^+(suda) \longrightarrow MnO_2\,s\,(+)\,Cr^{3+}(suda) + H_2O(s)$

(b) $Cl_2(g) + OH^-(suda) \longrightarrow Cl^-(suda) + ClO_3^-(suda) + H_2O(s)$

5-5 İndirgenme–Yükseltgenme Eşitliklerinin Denkleştirilmesi

▶ *Yarı-tepkime,ya da yarı-eşitlik,* hangisi doğrudur? Tepkime gerçek olayı ifade eder. Eşitlik ise bir gösterimdir. Biz eşitliği tepkimeye giren ve tepkimeden çıkan maddeleri (ürünleri) mol sayıları ile birlikte göstermek için yazarız. Kimyacıların birçoğu yarı-tepkime demeyi tercih eder, ancak yarı-eşitlik daha doğrudur.

Bir kimyasal tepkimede, atomlar ne varken yok olur ne de yok iken var olur, sadece basitçe yeniden düzenlenir. Biz bu düşünceyi Bölüm 4 de kimyasal eşitliklerin denkliğini sağlama işleminde kullanmıştık. Ancak, redoks tepkimeleri için ek görüşler gereklidir. Bu tepkimelerde elektronlar bir maddeden diğerine aktarılır ve elektronları ve bunların taşıdığı yükleri izlemeliyiz. Bu nedenle redoks eşitliklerinin denkleştirilmesinde üç faktör üzerinde yoğunlaşırız: (1) atom sayıları, (2) taşınan elektron sayıları, (3) tepkenlerin ve ürünleri toplam yükleri. Atom sayılarının ve elektron sayılarının denkleştirilmesi durumunda yük denkliği de otomatik olarak sağlanır.

Yukarıda belirtilen faktörlerin her üçünün de aynı anda dikkate alınmasının güçlüğü nedeniyle, indirgenme-yükseltgenme eşitliklerinin çok az bir kısmı basitçe denkleştirilebilir. Bu noktayı açıklığa kavuşturmak için aşağıda denkleştirilmiş gibi görülen tepkimeleri ele alalım. Tepkimeler atom sayıları, tepkenler ve ürünlerin toplam yükleri yönünden denkleşmiş görünmekle birlikte elektron alışverişi bakımından denk değildir.

$$2\,MnO_4^- + H_2O_2 + 6\,H^+ \longrightarrow 2\,Mn^{2+} + 3\,O_2 + 4\,H_2O \qquad (5.19)$$

$$2\,MnO_4^- + 3\,H_2O_2 + 6\,H^+ \longrightarrow 2\,Mn^{2+} + 4\,O_2 + 6\,H_2O \qquad (5.20)$$

$$2\,MnO_4^- + 5\,H_2O_2 + 6\,H^+ \longrightarrow 2\,Mn^{2+} + 5\,O_2 + 8\,H_2O \qquad (5.21)$$

$$2\,MnO_4^- + 7\,H_2O_2 + 6\,H^+ \longrightarrow 2\,Mn^{2+} + 6\,O_2 + 10\,H_2O \qquad (5.22)$$

▶ Burada kısa olsun diye tepken ve ürünlerin fiziksel halleri yazılmamıştır. Bütün iyonlar için, H_2O_2 dahil, fiziksel hal "(suda)"dır. Elbette, oksijen ve suyun fiziksel hali $O_2(g)$ ve $H_2O(s)$' dur.

Bunlar tepkime için yazılabilecek "denkleştirilmiş" kimyasal eşitliklerden bazılarıdır. Ancak bunlardan yalnızca biri, eşitlik (5.21), elektron alışverişi yönünden de denkleştirildiği için uygun eşitliktir.

Bir redoks tepkimesinin kimyasal eşitliğini denkleştirmek için ilgili faktörlerin hepsini içine alan sistematik bir yaklaşımdan yararlanmalıyız. Uygun çeşitli yöntemler olmakla beraber, biz yarı-eşitlik yöntemi üzerinde yoğunlaşacağız. Bu yöntem önce yarı-eşitliklerin denkleştirilmesi daha sonra da bunların birleştirilmesi ile net eşitliğin elde edilmesine dayanmaktadır. Yöntem aşağıda özetlenmiştir. Alıştırma 98'de başka bir yöntem verilmiştir.

Yarı-Eşitlik Yöntemi

Bu yöntemle redoks eşitliğini denkleştirmede kullanılan ana basamaklar aşağıda verilmiştir.

- Yükseltgenme ve indirgenme yarı-eşitliklerini ayrı ayrı yazınız ve denkleştiriniz.
- Her iki yarı-eşitlikteki katsayıları, aynı sayıda elektron bulunacak şekilde ayarlayınız.
- Denkleştirilmiş net eşitliği elde etmek için iki yarı-eşitliği toplayınız (elektronlar birbirini götürsün).

ÇİZELGE 5.5 Asidik Sulu Çözeltilerdeki Redoks Tepkimeleri Eşitliklerinin Yarı-Eşitlik Yöntemi ile Denkleştirilmesi: Özet

- Yükseltgenme ve indirgenme yarı-tepkimelerinin eşitliklerini yazınız.
- Her iki yarı-eşitlikte
  (1) H ve O dışındaki atomları denkleştiriniz.
  (2) O atomlarını, H_2O kullanarak denkleştiriniz.
  (3) H atomlarını, H^+ kullanarak denkleştiriniz.
  (4) Elektronlar ile yük denkliğini sağlayınız.
- Gerekirse, yükseltgenme ve indirgenme yarı-eşitliklerindeki elektron sayısını bu eşitliklerin birisini ya da ikisini uygun tam sayılarla çarparak denkleştiriniz.
- Yarı-eşitlikleri toplayınız. Daha sonra net eşitliğin her iki tarafındaki ortak türleri sadeleştiriniz.
- Atom ve yük denkliğini kontrol ediniz.

Bu yöntemin birinci basamağı birkaç basamaktan oluşmaktadır. Yöntemin kapsamlı açıklaması Çizelge 5-5 de verilmiştir. Bu yöntem asidik çözeltide yürüyen tepkimeler için uygundur. Çünkü asidik çözeltide H^+ iyonlarının aşırısı vardır ve yöntemde, yarı-eşitlikleri denkleştirmek için bu H^+ iyonları kullanılır.

ÖRNEK 5-6 Asidik Çözeltideki Bir Redoks Tepkimesi Eşitliğinin Denkleştirilmesi

(5.23) eşitliğinde verilen tepkime kağıt sanayisinde atık sularda sülfit iyonunu derişiminin belirlenmesinde kullanılır. Aşağıda asidik çözeltide gerçekleşen tepkimenin denkleştirilmiş eşitliğini, yarı-eşitlik yöntemini kullanarak yazınız.

$$SO_3^{2-}(suda) + MnO_4^-(suda) \longrightarrow SO_4^{2-}(suda) + Mn^{2+}(suda) \qquad (5.23)$$

Analiz

Tepkime asidik çözeltide meydana gelmektedir. Eşitliği denkleştirmek için Çizelge 5-5 de özetlenen yöntemi kullanabiliriz.

Çözüm

Kükürdün Y.B. si SO_3^{2-} de +4'den, SO_4^{2-} de +6 ya artar. Mn nin Y.B. si MnO_4^- de +7'den, Mn^{2+} da +2 ye azalır. Böylece SO_4^{2-} yükseltgenmiş ve MnO_4^- indirgenmiştir.

Basamak 1. *İndirgenen ve yükseltgenen türleri içeren iskelet yarı-eşitlikleri yazınız.* Buna göre yarı- eşitlikler şöyledir.

$$SO_3^{2-}(suda) \longrightarrow SO_4^{2-}(suda)$$
$$MnO_4^-(suda) \longrightarrow Mn^{2+}(suda)$$

Basamak 2. *Her iki yarı- eşitliğin atomlarını şu sıraya uyarak denkleştiriniz.*

- H ve O dışındaki atomları denkleştiriniz.
- O atomlarını, H_2O ya uygun bir katsayı ekleyerek denkleştiriniz.
- H atomlarını, H^+ ya uygun bir katsayı ekleyerek denkleştiriniz.

Diğer atomlar (S ve Mn) yarı-eşitliklerde zaten eşitlenmiştir. Oksijen atomlarını denkleştirmek için ilk yarı-eşitliğin soluna, bir H_2O, ikinci yarı-eşitliğin sağına $4H_2O$ ekleyiniz.

$$SO_3^{2-}(suda) + H_2O(s) \longrightarrow SO_4^{2-}(suda)$$
$$MnO_4^-(suda) \longrightarrow Mn^{2+}(suda) + 4\,H_2O(s)$$

H atomlarını denkleştirmek için ise, birinci yarı-eşitliğin sağına $2H^+$, ikincisinin soluna $8H^+$ ekleyiniz.

$$SO_3^{2-}(suda) + H_2O(s) \longrightarrow SO_4^{2-}(suda) + 2\,H^+(suda)$$
$$MnO_4^-(suda) + 8\,H^+(suda) \longrightarrow Mn^{2+}(suda) + 4\,H_2O(s)$$

(devam ediyor)

Basamak 3. *Her iki yarı-eşitliği elektrik yükü bakımından denkleştiriniz.* Yarı-eşitliklerde yükler eşit olacak şekilde, uygun tarafa elektron ekleyiniz. *Yükseltgenme yarı-eşitliğinde* elektronlar sağda, *indirgenme yarı eşitliğinde* soldadır.

Yükseltgenme: $SO_3^{2-}(suda) + H_2O(s) \longrightarrow SO_4^{2-}(suda) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^-$
(her iki tarafta net yük, –2)

İndirgenme: $MnO_4^-(suda) + 8\,H^+(suda) + 5\,e^- \longrightarrow Mn^{2+}(suda) + 4\,H_2O(s)$
(her iki tarafta net yük, +2)

Basamak 4. *Yarı-eşitlikleri toplayarak net redoks eşitliğini elde ediniz.* Yükseltgenme yarı eşitliğini 5 ile, indirgenme yarı eşitliğini 2 ile çarpınız. Bu durumda, net eşitliğin her iki tarafında da 10 e^- olur ve bunlar birbirlerini yok eder. *Son net eşitlikte elektronlar görünmemelidir.*

$$5\,SO_3^{2-}(suda) + 5\,H_2O(s) \longrightarrow 5\,SO_4^{2-}(suda) + 10\,H^+(suda) + 10\,e^-$$
$$2\,MnO_4^-(suda) + 16\,H^+(suda) + 10\,e^- \longrightarrow 2\,Mn^{2+}(suda) + 8\,H_2O(s)$$
$$5\,SO_3^{2-}(suda) + 2\,MnO_4^-(suda) + 5\,H_2O(s) + 16\,H^+(suda) \longrightarrow 5\,SO_4^{2-}(suda) + 2\,Mn^{2+}(suda) + 8\,H_2O(s) + 10\,H^+(suda)$$

Basamak 5. *Sadeleştiriniz.* Net eşitlikte her iki tarafta aynı türler bulunmamalıdır. Basamak 4'te elde edilen eşitlikte her iki taraftan 5 H_2O çıkarılırsa, sağda 3 H_2O kalır. Yine, her iki taraftan 10 H^+ çıkarılırsa solda 6 H^+ kalır.

$$5\,SO_3^{2-}(suda) + 2\,MnO_4^-(suda) + 6\,H^+(suda) \longrightarrow 5\,SO_4^{2-}(suda) + 2\,Mn^{2+}(suda) + 3\,H_2O(s)$$

Basamak 6. *Doğrulayınız.* Net eşitlikte atomların ve yüklerin denkliğini kontrol ediniz. Örneğin, basamak 5' de her iki taraftaki yükler -6' dır:

$$(5 \times 2-) + (2 \times 1-) + (6 \times 1+) = (5 \times 2-) + (2 \times 2+) = -6.$$

Değerlendirme

Basamak 6'daki son kontrol, yaptığımız işlemin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Bu önemli bir basamaktır ve daima zaman alıcıdır. Ayrıca bu örnekte formül başına yükseltgenen ya da indirgenen atom sayısının bir olduğu görülmektedir. Eğer formül başına indirgenen ya da yükseltgenen atom sayısı birden fazla olursa birçok öğrenci yarı-eşitlikleri denkleştirmede güçlük çeker (örneğin $Cr_2O_7^{2-}$, Cr^{3+}'e indirgendiğinde). Eşitlik (5.23)'de MnO_4^- yerine $Cr_2O_7^{2-}$ yazıldığında denkleştirilmiş kimyasal eşitlik $3\,SO_3^{2-} + Cr_2O_7^{2-} + 8\,H^+ \rightarrow 3\,SO_4^{2-} + 2\,Cr^{3+} + 4\,H_2O$. şeklindedir.

ALIŞTIRMA A: Asidik çözeltideki şu tepkime eşitliğini denkleştiriniz.
$Fe^{2+}(suda) + MnO_4^-(suda) \longrightarrow Fe^{3+}(suda) + Mn^{2+}(suda)$

ALIŞTIRMA B: Asidik çözeltideki şu tepkime eşitliğini denkleştiriniz.
$UO^{2+}(suda) + Cr_2O_7^{2-}(suda) \longrightarrow UO_2^{2+}(suda) + Cr^{3+}(suda)$

Bazik Çözeltide Redoks Eşitliklerinin Denkleştirilmesi

Bazik çözeltilerdeki redoks tepkimelerinin eşitliklerini denkleştirmek için Örnek 5-6'daki sürece bir ya da iki basamak daha eklemek gerekebilir. Bazik çözeltide, son denkleştirilmiş eşitlikte H^+ değil OH^- yer almalıdır. Hem OH^- hem de H_2O, O ve H atomları içerdiğinden bunları yarı-eşitliğin hangi tarafına ekleyeceğimize karar vermemiz zordur. Bu nedenle basit bir yaklaşımla, sanki tepkimeyi asidik çözeltide oluyormuş gibi düşünüp, eşitliği önce Örnek 5-6'daki gibi denkleştiriniz.Sonra net redoks eşitliğinin her iki tarafına H^+ iyonları sayısı kadar OH^- iyonları ekleyiniz. Eşitliğin aynı tarafında H^+ ve OH^- varsa, H_2O molekülünü oluşturacak şekilde birleştiriniz. Eğer H_2O eşitliğin her iki tarafında da gözüküyorsa, aynı sayıda H_2O moleküllerini her iki taraftanda çıkarınız ve sadece bir tarafta H_2O bırakınız. Bu yöntem Örnek 5-7 de gösterilmiş ve yapılan işlemler Çizelge 5.6 da özetlenmiştir.

ÖRNEK 5-7 Bazik Çözeltideki Redoks Tepkimesi Eşitliğinin Denkleştirilmesi

Bazik çözeltide siyanür iyonu, permanganat iyonuyla siyanat iyonuna yükseltgenmektedir. Bu tepkime eşitliğini denkleştiriniz. Tepkimede permanganat iyonu $MnO_2(k)$ 'ye indirgenmektedir.

$$MnO_4^-(suda) + CN^-(suda) \longrightarrow MnO_2(k) + OCN^-(suda) \quad (5.24)$$

Analiz

Bu tepkime bazik çözeltide meydana gelmektedir. Bu eşitliği Çizelge 5-6'da anlatılan yöntemi kullanarak denkleştirebiliriz. Yani yarı-tepkimeler ve net tepkime önce asidik çözeltide oluyormuş gibi işlem yapılır ve sonra da net eşitlik bazik çözeltideki duruma çevrilir.

Çözüm

Basamak 1. *İndirgenme ve yükseltgenme yarı tepkimelerinin yarı-eşitliklerini yazınız ve bunların Mn, C ve N atomlarını denkleştiriniz.*

$$MnO_4^-(suda) \longrightarrow MnO_2(k)$$

$$CN^-(suda) \longrightarrow OCN^-(suda)$$

Basamak 2. *O ve H atomları için yarı-eşitlikleri denkleştiriniz. Gerekiyorsa H_2O ve/veya H^+ ekleyiniz.* MnO_4^- yarı-eşitliğinde solda dört, sağda ise iki O atomu vardır. Sağa $2H_2O$ ekleyerek O' leri denkleştiririz. Şu anda sağda dört H bulunduğundan sola $4H^+$ ekleyerek H atomlarını eşitleriz. CN^- yarı-eşitliğinde yalnızca sağda bir O vardır ve denkleştirmek için sol tarafa bir H_2O, sağa $2H^+$ eklenmelidir.

$$MnO_4^-(suda) + 4\,H^+(suda) \longrightarrow MnO_2(k) + 2\,H_2O(s)$$

$$CN^-(suda) + H_2O(s) \longrightarrow OCN^-(suda) + 2\,H^+(suda)$$

Basamak 3. *Yarı-eşitlikleri uygun sayıda elektron ekleyerek,elektrik yükü bakımından denkleştiriniz.*

İndirgenme:
$$MnO_4^-(suda) + 4\,H^+(suda) + 3\,e^- \longrightarrow MnO_2(k) + 2\,H_2O(s)$$

Yükseltgenme:
$$CN^-(suda) + H_2O(s) \longrightarrow OCN^-(suda) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^-$$

Basamak 4. *Net redoks eşitliğini elde etmek için yarı-eşitlikleri toplayınız.* İndirgenme yarı-eşitliğini iki ile, yükseltgenme yarı-eşitliğini üç ile çarpınız. H^+ ve H_2O sayılarında uygun sadeleştirmeleri yapınız.

$$2\,MnO_4^-(suda) + 8\,H^+(suda) + 6\,e^- \longrightarrow 2\,MnO_2(k) + 4H_2O(s)$$

$$3\,CN^-(suda) + 3\,H_2O(s) \longrightarrow 3\,OCN^-(suda) + 6\,H^+(suda) + 6\,e^-$$

$$\text{Net: } 2\,MnO_4^-(suda) + 3\,CN^-(suda) + 2\,H^+(suda) \longrightarrow 2\,MnO_2(k) + 3\,OCN^-(suda) + H_2O(s)$$

Basamak 5. *Net eşitliğin her iki yanına $2OH^-$ ekleyerek asidik ortamdan bazik ortama dönüşüm yapınız; $2H^+$ ile $2OH^-$ yi birleştirerek $2H_2O$ oluşturunuz ve sadeleştiriniz.*

$$2\,MnO_4^-(suda) + 3\,CN^-(suda) + 2\,H^+(suda) + 2\,OH^-(suda) \longrightarrow 2\,MnO_2(k) + 3\,OCN^-(suda) + H_2O(s) + 2\,OH^-(suda)$$

$$2\,MnO_4^-(suda) + 3\,CN^-(suda) + 2H_2O(s) \longrightarrow 2MnO_2(k) + 3OCN^-(suda) + H_2O(s) + 2\,OH^-(suda)$$

Her iki taraftan bir H_2O molekülü çıkararak, (5.24) redoks tepkimesinin denkleştirilmiş net eşitliğini elde ediniz.

$$2\,MnO_4^-(suda) + 3\,CN^-(suda) + H_2O(s) \longrightarrow 2\,MnO_2(k) + 3\,OCN^-(suda) + 2\,OH^-(suda)$$

Basamak 6. *Doğrulayınız.* Son net eşitliğin doğru olup olmadığını anlamak için atom sayıları ve elektrik yük denkliğini kontrol ediniz. Örneğin, basamak 5'de elde edilen denkleştirilmiş eşitlikte her iki yanda net yükün -5 olduğunu gösteriniz.

Değerlendirme

Çizelge 3.2 de verilen yükseltgenme basamakları bulma kurallarını kullanarak MnO_4^- deki manganın +7 den MnO_2 de +4 e indirgendiğini görebiliriz. Diğer maddenin, CN^- nin yükseltgendiği sonucunu çıkarırız. (CN^- ve CNO^- deki C ve N in yükseltgenme basamakları belirtilen kurallarla bulunamaz.) C ya da N nini yükseltgenme basamaklarını bilmesek bile yine de tepkime eşitliğini denkleştirebiliriz. Bu, Çizelge 5-5 ve 5-6 da verilen yöntemlerin bir avantajıdır. Bölüm 10 da CN^- ya da CNO^- de, C ve N'in yükseltgenme basamaklarının nasıl bulunacağını öğreneceğimiz bir başka yöntemi tartışacağız.

(devam ediyor)

ALIŞTIRMA A: Bazik çözeltideki şu tepkime eşitliğini denkleştiriniz.

$$S(k)+OCl^-(suda) \longrightarrow SO_3^{2-}(suda)+Cl^-(suda)$$

ALIŞTIRMA B: Bazik çözeltideki şu tepkime eşitliğini denkleştiriniz.

$$MnO_4^-(suda)+SO_3^{2-}(suda) \longrightarrow MnO_2(k)+SO_4^{2-}(suda)$$

▶ Bazik çözeltilerde yarı-eşitlikleri denkleştirmenin bir başka yolu, O nun eksik olduğu tarafa her bir O için *iki* OH^-, diğer tarafa *bir* H_2O eklemektir. Sonra H nin eksik olduğu tarafa her bir H için *bir* H_2O, diğer tarafa da *bir* OH^- ekleyiniz.

ÇİZELGE 5.6 Bazik Sulu Çözeltilerdeki Redoks Tepkimeleri Eşitliklerinin Yarı-Eşitlik Yöntemi ile Denkleştirilmesi: Özet

- Çizelge 5.5' de asidik sulu çözeltiler için özetlenen yöntemi kullanarak, tepkime eşitliğini tepkime asidik ortamda oluyormuş gibi denkleştiriniz.
- Net eşitliğin her iki tarafına H^+ iyonlarının sayısına eşit sayıda OH^- iyonları ekleyiniz.
- Net eşitliğin bir tarafında yer alan H^+ ve OH^- iyonlarını H_2O oluşturmak üzere birleştiriniz. Eğer net eşitliğin her iki tarafında H_2O görünüyorsa, H_2O bir tarafta kalmak üzere sadeleştiriniz.
- Hem atomların sayılarını hem de yük denkliğini kontrol ediniz.

Yarılma (Disproporsiyonlanma) Tepkimeleri

Yarılma tepkimeleri, aynı bileşiğin hem indirgendiği, hem de yükseltgendiği redoks tepkimeleridir. Örnek olarak hidrojen peroksidin, (H_2O_2) H_2O ve O_2 'ye bozunmasını verebiliriz.

$$2\,H_2O_2(suda) \longrightarrow 2\,H_2O(s)+O_2(g) \qquad (5.25)$$

(5.25) tepkimesinde, oksijenin yükseltgenme basamağı, H_2O_2 de –1 den H_2O da –2 ye (indirgenme) ve O_2 de sıfıra (yükseltgenme) değişir. H_2O_2 hem indirgenir, hem de yükseltgenir. Bu tepkimede çözeltiden $O_2(g)$ kabarcıklar halinde çıkar.(Bakınız Şekil 5-14.)

Bir başka örnek asidik çözeltide $S_2O_3^{2-}$ nin yarılmasıdır:

$$S_2O_3^{2-}(suda)+2\,H^+(suda) \longrightarrow S(k)+SO_2(g)+H_2O(s) \qquad (5.26)$$

S'in yükseltgenme basamakları $S_2O_3^{2-}$ de +2, S(k) de 0 ve SO_2 de + 4 dür. Yani, $S_2O_3^{2-}$ aynı anda yükseltgenmiş ve indirgenmiştir. Laboratuarda, redoks tepkimelerinde sodyum tiyosülfat çözeltisi ($Na_2S_2O_3$) sıklıkla kullanılır. $Na_2S_2O_3$ stok çözeltileri eskidiğinde bazen az miktarda kükürt oluştuğu için zamanla açık sarı birikintiler görülür.

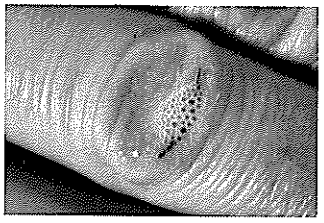
Bir yarılma tepkimesinin her iki yarı-eşitliğinde sol tarafta aynı madde yer alır. (5.26) tepkimesinin denkleştirilmiş yarı-eşitlikleri ve net eşitliği aşağıdaki gibidir.

Yükseltgenme: $S_2O_3^{2-}(suda)+H_2O(s) \longrightarrow 2\,SO_2(g)+2\,H^+(suda)+4e^-$

İndirgenme: $S_2O_3^{2-}(suda)+6\,H^+(suda)+4e^- \longrightarrow 2\,S(k)+3\,H_2O(s)$

$$2S_2O_3^{2-}(suda)+4\,H^+(suda) \longrightarrow 2\,S(k)+2\,SO_2(g)+2\,H_2O(s)$$

Net: $$S_2O_3^{2-}(suda)+2\,H^+(suda) \longrightarrow S(k)+SO_2(g)+H_2O(s)$$



▲ ŞEKİL 5-14

Hidrojen peroksit çözeltisinin antiseptik etkisi
Seyreltik hidrojen peroksit çözeltisi (genellikle kütlece %3' lük) küçük kesikleri ve yara kabuklarını temizlemede kullanılır. Kesik üzerine hidrojen peroksit çözeltisi sürüldüğünde oksijen gazı çıkışından dolayı bir köpürme olur.

5-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir redoks tepkimesinde tepkimeye giren iki farklı maddenin tek bir ürün vermesi mümkün müdür ? Açıklayınız.

5-2 MERAK EDİYORSANIZ...

Sulu çözeltiden başka bir ortamda meydana gelen bir redoks tepkimesi eşitliği nasıl denkleştirilir?

$NH_3(g)$ ün NO(g) ya yükseltgenmesi böyle bir tepkimeye örnektir ve bu tepkime ticari nitrik asit eldesinin ilk basamağıdır.

$$NH_3(g)+O_2(g) \longrightarrow NO(g)+H_2O(g)$$

Bazı kişiler bu tip tepkimeler için *yükseltgenme-basamağı değişimi yöntemini (altta verilen)* kullanmayı tercih ederler. Fakat yarı-eşitlik yöntemi de aynı zamanda çok iyi çalışır. Burada yapılması gereken tepkimeyi sulu asidik çözeltide oluyormuş gibi ele almaktır; aşağıda verildiği gibi H^+, hem tepken hem de ürün olarak yarı-eşitliklerde görülmelidir, ancak net eşitlikte yok edilmelidir.

Yükseltgenme: $4\{NH_3+H_2O \longrightarrow NO+5\,H^+ +5\,e^-\}$

İndirgenme: $5\{O_2+4\,H^+ +4\,e^- \longrightarrow 2\,H_2O\}$

Net: $4\,NH_3+5\,O_2 \longrightarrow 4\,NO+6\,H_2O$

Yükseltgenme-basamağı değişimi yöntemi

Bu yöntemde, yükseltgenme basamaklarının değişimleri belirlenir. Azotun, NH_3 de –3 den NO da +2 ye artması, her bir N atomunun 5 elektron "yitirdiğini" gösterir. Oksijenin O_2de 0 dan NO ve H_2O da –2 ye azalması, her bir O atomunun iki elektron "kazandığını" belirtir. N atomlarının O atomlarına oranı: 2N, 10 e^- yitirir/5 O, 10'e kazanır.

$$2\,NH_3 + \frac{5}{2}O_2 \longrightarrow 2\,NO + 3\,H_2O \quad \text{ya da} \quad 4\,NH_3 + 5\,O_2 \longrightarrow 4\,NO + 6\,H_2O$$

5-6 Yükseltgen ve İndirgenler

Kimyacılar redoks tepkimelerinde bazı tepkenleri nitelemek için *yükseltgen* ve *indirgen* terimlerini sık sık kullanırlar. Örneğin, "flor gazı güçlü bir yükseltgendir" ya da "kalsiyum metali iyi bir indirgendir" denir. Şimdi bu terimlerin anlamını kısaca görelim.

Bir redoks tepkimesinde başka bir maddeyi yükseltgeyen maddeye **yükseltgen** ya da oksidant denir. Yükseltgenin kendisi indirgenir. Benzer şekilde, başka bir maddeyi indirgeyen maddeye de **indirgen** adı verilir. İndirgenin kendisi yükseltgenir. Ya da yükseltgen ve indirgeni başka yollarla ifade edersek,

Yükseltgen;

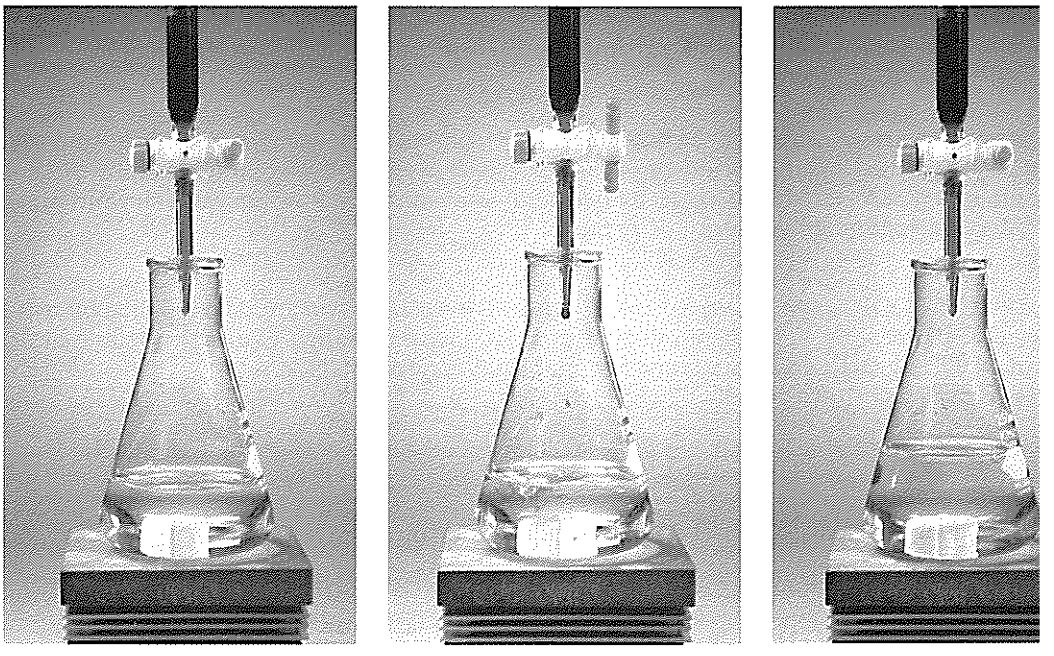
- bir başka maddenin yükseltgenmesini sağlar.
- redoks tepkimesinde yükseltgenme basamağı *azalan* bir element içerir.
- elektron *kazanır* (elektronlar yarı-eşitliğin sol tarafında yer alır).
- indirgenir.

İndirgen;

- bir başka maddenin indirgenmesini sağlar.
- bir redoks tepkimesinde yükseltgenme basamağı *artan* bir element içerir.
- elektron *yitirir* (elektronlar yarı-eşitliğin sağ tarafında yer alır).
- yükseltgenir.

Eğer bir element mümkün olan en yüksek yükseltgenme basamağında bulunuyorsa, bu madde bir yükseltgendir. Eğer element mümkün olan en düşük yükseltgenme basamağında bulunuyorsa bu madde bir indirgendir.

► ŞEKİL 5-15
Azotun yükse lerin belirlenı
NO_3^- ve N_2O_4 basamaklarınd ve NH_3 deki a: ve bu bileşikle



(a) (b) (c)

▲ ŞEKİL 5-18
Redoks titrasyonu yardımıyla bir yükseltgen çözeltisinin ayarlanması (Örnek 5-10 un resimle gösterilişi).
(a) Erlendeki çözelti bilinen miktarda Fe^{2+} içerir ve büret ise koyu renkli olan ayarlanacak [$KMnO_4$(suda)] çözeltisiyle doldurulur. **(b)** $KMnO_4$(suda) çözeltisi, kuvvetli asidik ortamda bulunan Fe^{2+}(suda) çözeltisine eklendiğinde, (5.27) tepkimesine göre rengini hemen kaybeder. **(c)** Bütün Fe^{2+} iyonları Fe^{3+} iyonlarına yükseltgendikten sonra, eklenen çok az miktardaki $KMnO_4$(suda) çözeltisi yükseltgeyecek bir şey bulamaz ve çözelti titrasyonda ayırt edici bir renk olan permanganatın pembe rengine döner. Bu pembe rengi elde etmek için eşdeğerlik noktasından sonra bir damladan daha az $KMnO_4$(suda) yeterlidir.

ÖRNEK 5-10 Bir Çözeltinin Redoks Titrasyonu ile Ayarlanması

0,1568 g demir tel parçası Fe^{2+}(suda) iyonuna dönüştürdükten sonra 26,24 mL $KMnO_4$ çözel edilmiştir. $KMnO_4$(suda) çözeltisinin molaritesini nedir?

$$5\,Fe^{2+}(suda) + MnO_4^-(suda) + 8\,H^+(suda) \longrightarrow 5\,Fe^{3+}(suda) + Mn^{2+}(suda) + 4\,H_2O(s)$$

Analiz

Titrasyon hesaplamalarında, harcanan iki tepkenin stokiyometrik bakımdan eşdeğer mikta madan tükendiği noktasından hareket edilir. Bize Fe miktarı (0,156 g) verilmiştir. Bu m lanarak 26,24 mL çözeltideki $KMnO_4$' ün mol sayısını bulmalıyız. Bu nedenle aşağıdaki dö gereklidir:

$$g\ Fe \longrightarrow mol\ Fe \longrightarrow mol\ Fe^{2+} \longrightarrow mol\ MnO_4^- \longrightarrow mol\ KMnO_4$$

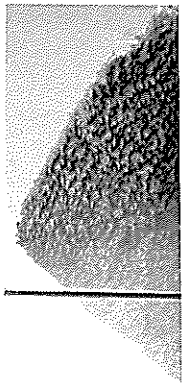
Fe^{2+} mol sayısının MnO_4^- mol sayısına dönüşümü için, (5.27) eşitliğinin katsayılarından e stokiyometrik faktör gereklidir.

Çözüm

Önce, titrasyonda harcanan $KMnO_4$ miktarını (mol cinsinden) hesaplayınız.

$$?mol\ KMnO_4 = 0{,}1568\ g\ Fe \times \frac{1\ mol\ Fe}{55{,}847\ g\ Fe} \times \frac{1\ mol\ Fe^{2+}}{1\ mol\ Fe} \times \frac{1\ mol\ MnO_4^-}{5\ mol\ Fe^{2+}} \times \frac{1\ mol\ KMnO_4}{1\ mol\ MnO_4^-}$$

$$= 5{,}615 \times 10^{-4}\ mol\ KMnO_4$$



▲ ŞEKİL 5-16
Sodyum hipok NaOCl(suda), i etkisi
NaOCl(suda) çö: daldırılan kumaş boya pigmentle: siz ürüne yükselt kumaş beyaz olu

ÖRNEK 5-8 Yükseltgen ve İndirgenlerin Belirlenmesi

Hidrojen peroksit, H_2O_2, çok yönlü bir kimyasaldır. H_2O_2, odun hamuru ve tekstil maddelerinin ağartılmasında ve suyun arıtılmasında klor yerine kullanılır. Çok yönlülüğünün nedenlerinden biri, hem yükseltgen hem de indirgen olabilmesidir. Aşağıdaki tepkimelerde hidrojen peroksidin indirgen mi, yoksa yükseltgen mi olduğunu belirtiniz

(a) $H_2O_2(suda) + 2\,Fe^{2+}(suda) + 2\,H^+(suda) \longrightarrow 2\,H_2O(s) + 2\,Fe^{3+}(suda)$

(b) $5\,H_2O_2(suda) + 2\,MnO_4^-(suda) + 6\,H^+(suda) \longrightarrow 8\,H_2O(s) + 2\,Mn^{2+}(suda) + 5\,O_2(g)$

Analiz

Yükseltgen ve indirgeni belirlemeden önce yükseltgenme basamaklarını bulmalı ve hangi maddenin yükseltgendiğini ve hangisinin indirgendiğini belirlemeliyiz. Yükseltgen diğer maddeyi yükseltger, indirgen ise diğer maddeyi indirger.

Çözüm

(a) H_2O_2 ile Fe^{2+} iyonu, Fe^{3+} e yükseltgenmiştir. O halde, H_2O_2 bir yükseltgendir. Başka bir yoldan bakıldığında, H_2O_2 deki oksijenin Y.B. si -1 iken, H_2O da Y.B. sinin -2 olduğu görülür. Yani hidrojen peroksit indirgenmiş, öyleyse yükseltgendir.

(b) H_2O_2 bileşiği MnO_4^- ta manganı Mn^{2+} ya indirgenmiştir. Öyleyse burada H_2O_2 bir indirgendir. Ya da, H_2O_2'deki oksijenin Y.B. si –1 den O_2 de 0 değerine arttığı için H_2O_2 yükseltgenmiştir ve buna göre indirgendir.

Değerlendirme

H_2O_2 nin çok yönlülüğü hem yükseltgen hem de indirgen olarak davranabilmesinden kaynaklanmaktadır. Yükseltgen olarak davrandığında kendisi (**a**) şıkkındaki gibi H_2O ya veya bazik çözeltide OH^- ye indirgenir. İndirgen olarak davrandığında ise (**b**) şıkkındaki gibi O_2 ye yükseltgenir.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki tepkimede $H_2(g)$ indirgen mi, yoksa yükseltgen midir ? Açıklayınız.

$$2\,NO_2(g) + 7\,H_2(g) \longrightarrow 2\,NH_3(g) + 4\,H_2O(g)$$

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki tepkimede indirgen ve yükseltgeni belirleyiniz.

$$4\,Au(k) + 8\,CN^-(suda) + O_2(g) + 2\,H_2O(s) \longrightarrow 4\,[Au(CN)_2]^-(suda) + 4\,OH^-(suda)$$

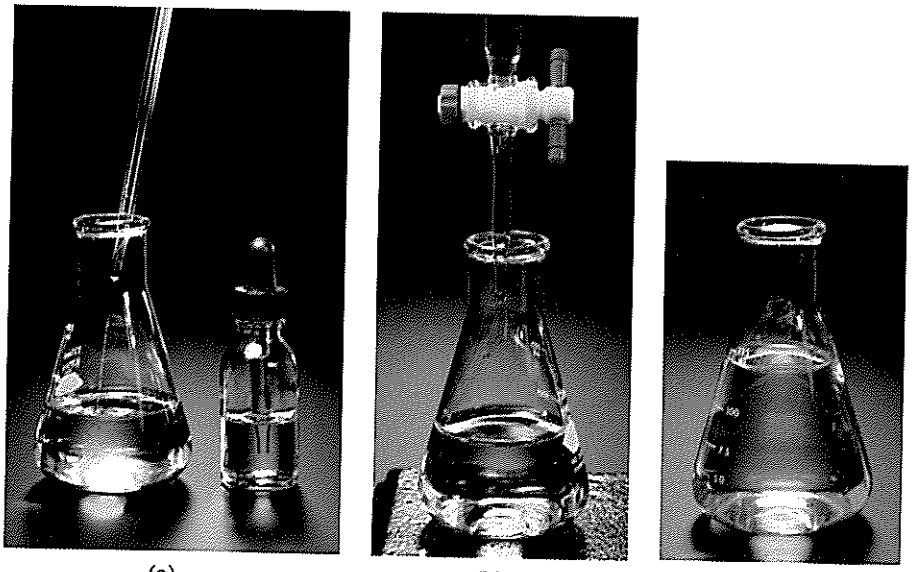
5-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir gazete, sodyum hidroksit çözeltisinin depolandığı bir bölgeye kaza sonucu hidroklorik asit döküldüğünü ve bu çözeltiler bir araya geldiğinde çok tehlikeli klor gazının salınacağını duyurmuştur. Bu tehlike içeren haber doğru mudur? Açıklayınız.

5-7 Sulu Çözelti Tepkimelerinin Stokiyometrisi: Titrasyonlar

Amacımız bir ürünü en düşük fiyatla ve en yüksek verimle elde etmekse, çoğu zaman en pahalı olan tepkeni sınırlayıcı bileşen olarak seçer ve diğerlerinin aşırısını kullanırız. Çoğu çöktürme tepkimelerinde uygulanan da budur. Bir çözelti derişiminin tayin edilmesi gibi bazı durumlarda ise bizi ürünler değil, iki tepken arasındaki ilişki ilgilendirir. Bu yüzden tepkimeyi, iki tepkenin de artmayacağı bir yoldan yürütmeliyiz. Bu amaçla uzun süreden beri kullanılan yöntem *titrasyon* olarak bilinir. Şekil 5-17' de titrasyonda kullanılan tipik cam malzemeler görülmektedir.

Tepkenlerden birinin çözeltisi küçük bir behere ya da erlene konur. Yine çözelti halindeki bir tepken (titrant denilen) de, ucunda bir mus-



(a) (b) (c)

▲ ŞEKİL 5-17
Bir asit-baz titrasyonu: Örnek 5 -9'un gösterilişi
(a) Bir erlene 5,00 mL sirke, biraz su ve birkaç damla fenolftalein indikatörü konur. **(b)** Daha önce bürete doldurulmuş 0,1000 M NaOH çözeltisi bu karışıma damla damla eklenir. **(c)** Erlendeki asit fazla olduğu sürece çözelti renksiz kalır. Asit nötürleştiğinde eklenen bir damla NaOH(suda) çözeltiyi çok az bazik yapar. Fenolftalein indikatörü açık pembeye döner. Bu ilk sürekli pembe rengin göründüğü nokta titrasyonun eşdeğerlik noktası olarak alınır.

luğu bulunan bir *bürete* konur. Musluk, elle kontrol edilerek, ikinci çözelti birinci çözeltiye yavaş yavaş eklenir. Bir çözeltinin diğerine dikkatli ve kontrollü bir biçimde eklenmesi ile oluşturulan tepkimeye **titrasyon** adı verilir. İşin püf noktası, titrasyonu, her iki tepkenin de tükendiği noktada durdurmaktır. Bu noktaya titrasyonun **eşdeğerlik noktası** denir. Eşdeğerlik noktasında iki tepken de stokiyometrik oranlarda birleşmiş ve tamamen kullanılmış yani, aşırısı kalmamıştır.

▶ Başarılı bir asit-baz titrasyonu için doğru indikatörün seçilmesi önemli bir konudur. Bu seçimin nasıl yapılacağını Bölüm 17 de, titrasyonun kuramsal yönünü incelediğimizde öğrenmiş olacağız.

Modern kimya laboratuarlarında eşdeğerlik noktası uygun ölçü cihazları ile belirlenebilmektedir. Bununla birlikte, hala yaygın olarak kullanılan bir teknik, eşdeğerlik noktasında ya da buna çok yakın noktada renk değiştiren bir maddeden ortama çok az miktarda eklemektir. Bu tür maddelere **indikatör** denir. Şekil 5-17 de titrasyon ile bir asidin bir bazla nötürleştirilmesi gösterilmektedir. Titrasyon verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar hemen hemen Kesim 4.3 de anlatıldığı gibidir ve ayrıca Örnek 5-9 da incelenmiştir.

▶ *Ayarlama*, çözelti derişiminin genellikle üç veya dört anlamlı rakamla belirlenmesidir. Burada derişimin yuvarlanmış bir sayı olarak verilmesi değil, kesin olarak bilinmesi önemlidir (0,1035 M' yi 0,1000 M şeklinde yuvarlamak gibi).

Molaritesi, tam bilinen (0,02 M civarında) $KMnO_4$ çözeltisine gerek duyduğumuzu varsayalım. Böyle bir çözeltiyi istenen miktarda $KMnO_4(k)$ tartıp, suda çözerek hazırlayamayız. Çünkü bu katı saf değildir ve gerçek saflığı da ($KMnO_4$ ün kütlece yüzdesi) *bilinmez*. Diğer taraftan gerekli saflıkta demir teli bulmamız olasıdır. Bu teli bir asitle tepkimeye sokarak $Fe^{2+}(suda)$ yi elde edebiliriz. Asidik çözeltide $KMnO_4(suda)$ ile $Fe^{2+}(suda)$ iyonları $Fe^{3+}(suda)$ e yükseltgenir. Belli miktardaki $Fe^{2+}(suda)$ yi yükseltgemek için gerekli $KMnO_4(suda)$ hacmini bularak $KMnO_4(suda)$ ün kesin molaritesini hesaplayabiliriz. Bir çözeltinin kesin molaritesini bulmak için yapılan bu işleme **çözeltinin ayarlanması** denir. Örnek 5-10 ve Şekil 5-18 de bu uygulama gösterilmiştir.

ÖRNEK 5-9 **Asit ve Bazların Derişimlerini Belirlemede Titrasyon Verilerinin Kullanılması**

Sirke, elma suyu, şarap ya da diğer karbonhidratların bakterilerle mayalanması sonucu, sulu seyreltik asetik asit çözeltisi oluşur. Sirkedeki yasal asetik asit derişimi en düşük kütlece %4 tür. Sirkenin 5 mL'lik bir örneği 38,08 mL 0,1000 M NaOH (suda) ile titre edilmiştir. Bu sirke yasal alt sınırı aşmakta mıdır? (Sirkenin yoğunluğu yaklaşık 1,01 g/mL.)

Analiz

Asetik asit, CH_3COOH, zayıf bir asit ve NaOH kuvvetli bir bazdır. Aralarındaki tepkime bir asit-baz nötürleşme tepkimesidir. Tepkimenin denkleştirilmiş kimyasal eşitliğini yazarak çözüme başlarız. Sonra mL NaOH'i g CH_3COOH miktarına aşağıdaki gibi dönüştürebiliriz:
Gerekli çevirmeler şu sıraya göredir:

$$\text{mL NaOH} \longrightarrow \text{L NaOH} \longrightarrow \text{mol NaOH} \longrightarrow \text{mol } CH_3COOH \longrightarrow \text{g } CH_3COOH$$

Çözüm

Tepkimenin denkleştirilmiş kimyasal eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$CH_3COOH(suda) + NaOH(suda) \longrightarrow NaCH_3COO(suda) + H_2O(s)$$

$$?\,g\,HC_2H_3O_2 = 38{,}08\,mL \times \frac{1\,L}{1000\,mL} \times \frac{0{,}1000\,mol\,NaOH}{1\,L} \times \frac{1\,mol\,CH_3COOH}{1\,mol\,NaOH} \times \frac{60{,}05\,g\,CH_3COOH}{1\,mol\,CH_3COOH}$$

$$= 0{,}2287\,g\,CH_3COOH$$

Bu değer yoğunluğu 1,01 g/mL olan 5,00 mL sirkedeki CH_3COOH'ın kütlesidir. CH_3COOH'ın kütlece yüzdesi

$$\%\,CH_3COOH = \frac{0{,}2287\,g\,CH_3COOH}{5{,}00\,mL\ sirke} \times \frac{1\,mL\ sirke}{1{,}01\,g\,sirke} \times \%100$$

$$= \%4{,}53\,CH_3COOH$$

Görüldüğü gibi, bu sirke örneği yasal alt sınırı az da olsa aşmaktadır. Sirkedeki asetik asidin en üst sınırını belirleyen standart da vardır. Sirke üreticileri, sirkenin bu sınırlar içinde kaldığından emin olmak için bu titrasyon yöntemini kullanabilirler.

Değerlendirme

Bu örnekteki gibi problemler birçok basamaklar ya da dönüşümler içerebilirler. Bu nedenle önce problemi daha az basamaklar ya da dönüşümler içeren kısımlara ayırmaya çalışınız. Bu arada stokiyometrik problemlerin çözümünde şu üç basamağın kullanıldığını hatırlamak yararlı olabilir: (1) mollere çevirme, (2) moller arası dönüştürme, (3) mollerden dönüştürme. Hacim-mol ve gram-mol dönüşümlerini gerçekleştirmek için sırasıyla molariteleri ve mol kütlelerini kullanınız. Denkleştirilmiş kimyasal eşitlikten stokiyometrik faktörler kurulur.

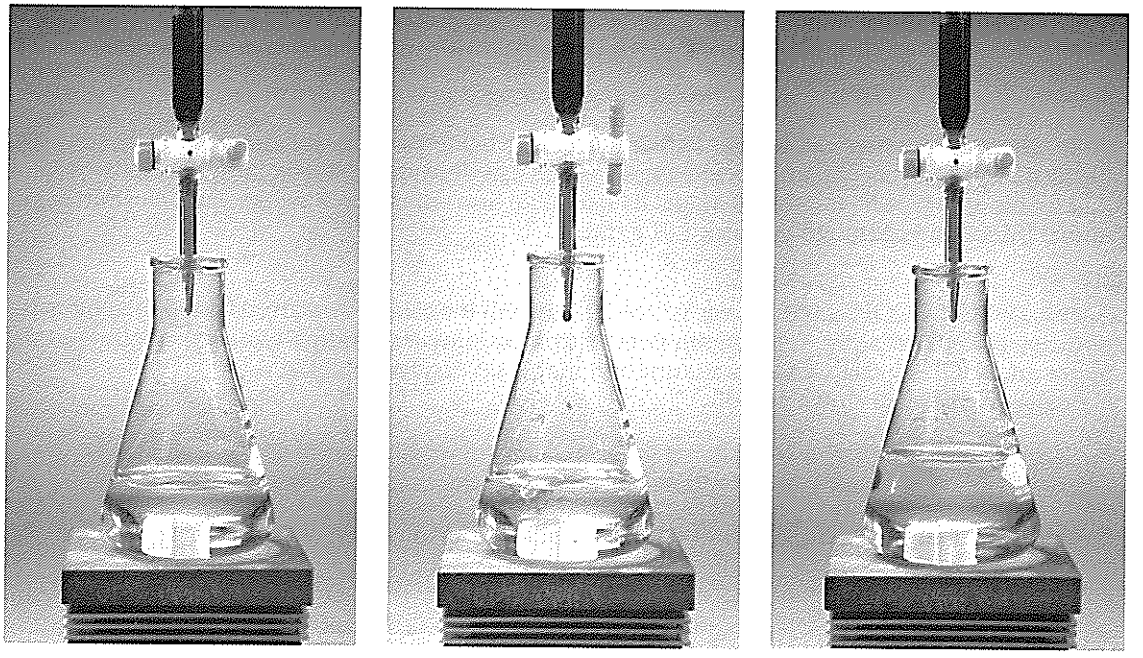
ALIŞTIRMA A: Yaklaşık molaritesi 0,100 M olan bir NaOH çözeltisinin kesin molaritesini bulabilmek için 0,5000 g $KHC_8H_4O_4$ suda çözülüp, 24,03 mL NaOH(suda) ile titre ediliyor. NaOH(suda) çözeltisinin kesin molaritesi nedir?

$$HC_8H_4O_4^-(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow C_8H_4O_4^{2-}(suda) + H_2O(s)$$

ALIŞTIRMA B: Kütlece %92,5 NaOH ve %7,5 $Ca(OH)_2$ içeren 0,235 g lık bir katı örneğin titrasyonu için 45,6 mL HCl(suda) harcanıyor. HCl(suda) çözeltisinin molaritesi nedir?

5.7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

10,00 mL 0,311 M KOH çözeltisi 31,10 mL 0,100 M HCl çözeltisine ilave ediliyor. Son çözelti asidik mi, bazik mi, ya da tam nötür müdür? Açıklayınız.



(a) (b) (c)

▲ ŞEKİL 5-18
Redoks titrasyonu yardımıyla bir yükseltgen çözeltisinin ayarlanması (Örnek 5-10 un resimle gösterilişi).
(a) Erlendeki çözelti bilinen miktarda Fe^{2+} içerir ve büret ise koyu renkli olan ayarlanacak [$KMnO_4$(suda)] çözeltisiyle doldurulur. **(b)** $KMnO_4$(suda) çözeltisi, kuvvetli asidik ortamda bulunan Fe^{2+}(suda) çözeltisine eklendiğinde, (5.27) tepkimesine göre rengini hemen kaybeder. **(c)** Bütün Fe^{2+} iyonları Fe^{3+} iyonlarına yükseltgendikten sonra, eklenen çok az miktardaki $KMnO_4$(suda) çözeltisi yükseltgeyecek bir şey bulamaz ve çözelti titrasyonda ayırt edici bir renk olan permanganatın pembe rengine döner. Bu pembe rengi elde etmek için eşdeğerlik noktasından sonra bir damladan daha az $KMnO_4$(suda) yeterlidir.

ÖRNEK 5-10 Bir Çözeltinin Redoks Titrasyonu ile Ayarlanması

0,1568 g demir tel parçası Fe^{2+}(suda) iyonuna dönüştürdükten sonra 26,24 mL $KMnO_4$ çözeltisi ile titre edilmiştir. $KMnO_4$(suda) çözeltisinin molaritesini nedir?

$$5\,Fe^{2+}(suda) + MnO_4^-(suda) + 8\,H^+(suda) \longrightarrow 5\,Fe^{3+}(suda) + Mn^{2+}(suda) + 4\,H_2O(s) \qquad (5.27)$$

Analiz

Titrasyon hesaplamalarında, harcanan iki tepkenin stokiyometrik bakımdan eşdeğer miktarlarda artmadan tükendiği noktasından hareket edilir. Bize Fe miktarı (0,156 g) verilmiştir. Bu miktarı kullanarak 26,24 mL çözeltideki $KMnO_4$'ün mol sayısını bulmalıyız. Bu nedenle aşağıdaki dönüşümler gereklidir:

$$g\ Fe \longrightarrow mol\ Fe \longrightarrow mol\ Fe^{2+} \longrightarrow mol\ MnO_4^- \longrightarrow mol\ KMnO_4$$

Fe^{2+} mol sayısının MnO_4^- mol sayısına dönüşümü için, (5.27) eşitliğinin katsayılarından elde edilen stokiyometrik faktör gereklidir.

Çözüm

Önce, titrasyonda harcanan $KMnO_4$ miktarını (mol cinsinden) hesaplayınız.

$$?mol\ KMnO_4 = 0{,}1568\ g\ Fe \times \frac{1\ mol\ Fe}{55{,}847\ g\ Fe} \times \frac{1\ mol\ Fe^{2+}}{1\ mol\ Fe} \times \frac{1\ mol\ MnO_4^-}{5\ mol\ Fe^{2+}} \times \frac{1\ mol\ KMnO_4}{1\ mol\ MnO_4^-}$$

$$= 5{,}615 \times 10^{-4}\ mol\ KMnO_4$$

$5{,}615 \times 10^{-4}$ mol $KMnO_4$ içeren çözeltinin hacmi 26,24 mL= 0,02624 L dir ve

$$KMnO_4 \text{ derişimi} = \frac{5{,}615 \times 10^{-4} \text{ mol } KMnO_4}{0{,}02624 \text{ L}} = 0{,}02140 \text{ M } KMnO_4 \text{ dir.}$$

Değerlendirme

Pratik uygulamalarda, örneğin titrasyonlarda, kullanılan çözeltilerin molariteleri ne çok yüksek, ne de çok düşüktür. Molariteler çoğunlukla 0,001 M ile 0,1 M arasındadır. Molaritenin 0,1 M'dan yüksek veya 0,001 M' dan düşük çıkması halinde hesaplamalarda hata olup olmadığını dikkatlice kontrol etmelisiniz.

ALIŞTIRMA A: 0,376 g demir filizi örneği asitte çözülüyor ve filizdeki demir, Fe^{2+}(suda) iyonuna indirgeniyor. Daha sonra bu örnek 41,25 mL 0,02140 M $KMnO_4$(suda) ile titre ediliyor. Bu filizdeki Fe' in kütlece yüzdesi ne kadardır?

[*İpucu*: (5.27) eşitliğini kullanınız.]

ALIŞTIRMA B: $KMnO_4$ çözeltisini ayarlamak için sodyum okzalat da, $Na_2C_2O_4$, kullanılabilir. 0,2482 g $Na_2C_2O_4$ suda çözülüp 23,68 mL $KMnO_4$ ile titre ediliyor. $KMnO_4$(suda) çözeltisinin molaritesi nedir?

$$MnO_4^-(\text{suda}) + C_2O_4^{2-}(\text{suda}) + H^+(\text{suda}) \longrightarrow Mn^{2+}(\text{suda}) + H_2O(s) + CO_2(g) \text{ (denkleştirilmemiş)}$$

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Hepimiz için temiz su, arıtılmış su vazgeçilemez bir olgudur. Suyun arıtılma biçimi kullanım amacına göre değişir. Sudaki safsızlıkları yok etmenin veya onları zararsız hale getirmenin yollarının tartışılması için bakınız: "Focus on feature for Chapter 5, Water Treatment, on the MasteringChemistry site.

Özet

5-1 Sulu Çözeltilerin Doğası—Sulu çözeltide iyonlaşmayan çözünenlere **elektrolit olmayanlar**, iyonlaşanlara ise **elektrolitler** denir. **Zayıf elektrolitler** kısmen, **kuvvetli elektrolitler** hemen hemen tamamen iyonlarına ayrışırlar. Çözeltinin derişimi çözeltide bulunan çözünen madde türlerinin (molekül ve iyonların) molariteleri ile ifade edilir. Kuvvetli elektrolit çözeltilerinde iyon derişimlerinin hesaplanması kolaydır.

5-2 Çökelme Tepkimeleri—Sulu çözeltideki bazı tepkimeler, iyonların suda çözünmeyen bir bileşik **(çökelek)** vermek üzere birleşmesiyle oluşurlar. Çökelme tepkimeleri genellikle **net iyonik eşitlikle** gösterilir. Bu eşitlikte sadece tepkimeye giren iyonlar ve katı çökelek gösterilirken **gözlemci iyonlar** atılır. Çökelmenin olup olmayacağı Çizelge 5.1 de verilen birkaç basit çözünürlük kılavuzu yardımıyla öngörülebilir.

5-3 Asit-Baz Tepkimeleri—Arrhenius kuramına göre sulu çözeltide iyonlaşarak H^+ iyonu veren maddeye **asit** denir. Tamamen iyonlaşan asite **kuvvetli asit** (Çizelge 5.2) kısmen iyonlaşan asite ise **zayıf asit** denir. Benzer şekilde **baz** sulu çözeltide OH^- iyonları verir ve iyonlaşma eğilimlerine göre **zayıf baz** ve **kuvvetli baz** (Çizelge 5.2) olarak adlandırılır. Bøndsted-Lowry kuramına göre ise bir asit-baz tepkimesinde protonlar asitten **(proton verici)** baza **(proton alıcı)** aktarılır. Asit-baz ya da **nötürleşme** tepkimesinde asitten gelen H^+ iyonu ile bazdan gelen OH^- iyonunun birleşmesiyle HOH (su) meydana gelir. Tepkimenin diğer ürünü ise iyonik bir bileşik olan **tuzdur**. Gaz çıkışının görüldüğü bazı tepkimeler de asit-baz tepkimeleri olarak (Çizelge 5.3) kabul edilir.

5-4 Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri: Bazı Genel İlkeler—**İndirgenme-yükseltgenme (redoks) tepkimesi**nde belirli atomların yükseltgenme basamağında artma olur. Bu sürece **yükseltgenme** denir. Diğer bazı atomların yükseltgenme basamaklarında azalma olur, bu süreç de **indirgenme** olarak adlandırılır. Redoks tepkimeleri, yükseltgenme ve indirgenme için ayrı ayrı verilen **yarı-tepkimelerin** birleşimidir.

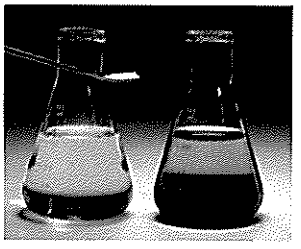
5-5 Yükseltgenme-İndirgenme Eşitliklerinin Denkleştirilmesi—Redoks eşitliklerini denkleştirmenin etkili bir yolu, önce tepkimeyi iki yarı tepkimeye ayırmak, bunların yarı-eşitliklerini yazmak ve denkleştirdikten sonra net eşitliği elde etmek üzere birleştirmektir (Çizelge 5.5). Bu yöntemde yapılan küçük bir değişiklik ile sulu bazik redoks tepkimeleride denkleştirilebilir. (Çizelge 5.6). Aynı maddenin hem yükseltgendiği hem de indirgendiği redoks tepkimesine **yarılma (disproporsiyonlama)** tepkimesi denir.

5-6 Yükseltgen ve İndirgenler—**Yükseltgen**, yükseltgenme yarı tepkimesinde yer alan tepkendir ve redoks tepkimesinde *indirgenir*. **İndirgen**, indirgenme yarı tepkimesinde yer alan tepkendir ve redoks tepkimesinde *yükseltgenir*. Bazı maddeler sadece yükseltgen, bazıları ise sadece indirgendir. Ancak birçok madde yer aldığı tepkimeye göre indirgen ya da yükseltgen olarak davranabilir (Şekil 5-15).

5-7 Sulu Çözeltilerin Stokiyometrisi: Titrasyonlar— **Titrasyon** çökelme, asit-baz ve redoks tepkimeleri için uygulanabilen, çok bilinen bir laboratuar tekniğidir. Titrasyonda kilit nokta **eşdeğerlik noktasıdır** ve bu nokta bir indikatör yardımıyla belirlenebilir. Titrasyon verileri çözeltinin molaritesini bulmada, yani **çözeltinin ayarlanmasında** ya da analiz edilen örneğin bileşimi hakkında başka bilgiler sağlamada kullanılabilir.

Pekiştirici Örnek

Sodyum ditiyonit ($Na_2S_2O_4$) önemli bir indirgendir. Ditiyonit iyonunun, $S_2O_4^{2-}$, ilginç bir kullanımı bazik çözeltide kromat (CrO_4^{2-}) iyonunu, suda çözünmeyen krom(III) hidroksite indirgemesidir. Diğer ürün ise sülfit iyonudur. Örneğin, kromat iyonu krom-kaplama fabrikalarında atık sularda bulunabilir. 0,0148 M [CrO_4^{2-}] içeren 100,0 L'lik bir atık su için harcanan $Na_2S_2O_4$ ün kütlesi nedir?



◀ Beyaz katı sodyum ditiyonit, ($Na_2S_2O_4$) sarı renkli potasyum kromat, (K_2CrO_4)çözeltisine eklenmiştir. Tepkime ürünü gri-yeşil krom(III) hidroksittir, $Cr(OH)_3(k)$ (sağda).

Analiz

"Kromatın indirgenmesi" CrO_4^{2-} ile $S_2O_4^{2-}$ arasında bir redoks tepkimesi meydana geldiğini işaret etmektedir. Bu tepkime için Çizelge 5.6' da özetlenen yöntemi kullanarak denkleştirilmiş bir eşitlik yazmalıyız. Daha sonra da 100,0 L atık suyu, $Na_2S_2O_4$ kütlesine gram cinsinden aşağıdaki şekilde dönüştürmeliyiz:

$$\text{100,0 L atık su} \longrightarrow \text{mol } CrO_4^{2-} \longrightarrow \text{mol } S_2O_4^{2-} \longrightarrow \text{mol } Na_2S_2O_4 \longrightarrow \text{g } Na_2S_2O_4$$

Çözüm

1. *Tepkime için uygun bir iyonik eşitlik yazınız.* $CrO_4^{2-}(suda) + S_2O_4^{2-}(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow Cr(OH)_3(k) + SO_3^{2-}(suda)$

2. *Bu redoks eşitliğini denkleştiriniz.* Denkleştirmeye iskelet yarı-eşitliklerini yazarak başlayınız.

$$CrO_4^{2-} \longrightarrow Cr(OH)_3$$
$$S_2O_4^{2-} \longrightarrow SO_3^{2-}$$

Yarı-tepkimeleri, asidik çözeltide oluyormuş gibi Cr, S, O ve H atomları bakımından denkleştiriniz.

$$CrO_4^{2-} + 5\,H^+ \longrightarrow Cr(OH)_3 + H_2O$$
$$S_2O_4^{2-} + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,SO_3^{2-} + 4\,H^+$$

Yarı-eşitlikleri yük bakımından denkleştiriniz, bunları indirgenme ve yükseltgenme olarak belirtiniz.

$$\textit{Yükseltgenme: } S_2O_4^{2-} + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,SO_3^{2-} + 4\,H^+ + 2e^-$$
$$\textit{İndirgenme: } CrO_4^{2-} + 5\,H^+ + 3\,e^- \longrightarrow Cr(OH)_3 + H_2O$$

Yarı-eşitlikleri, net eşitliği elde etmek üzere birleştiriniz.

$$3 \times [S_2O_4^{2-} + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,SO_3^{2-} + 4\,H^+ + 2\,e^-]$$
$$2 \times [CrO_4^{2-} + 5\,H^+ + 3\,e^- \longrightarrow Cr(OH)_3 + H_2O]$$
$$3\,S_2O_4^{2-} + 2\,CrO_4^{2-} + 4\,H_2O \longrightarrow 6\,SO_3^{2-} + 2\,Cr(OH)_3 + 2\,H^+$$

3. *Koşulları bazik çözeltiye çeviriniz.* Yukarıdaki eşitliğin her iki tarafına 2 OH^- ekleyiniz ve 2 H^+ ve 2 OH^- yi birleştirip sağ tarafa 2 H_2O yazınız.

$$3\,S_2O_4^{2-} + 2\,CrO_4^{2-} + 4\,H_2O + 2\,OH^- \longrightarrow 6\,SO_3^{2-} + 2\,Cr(OH)_3 + 2\,H_2O$$

Denkleştirilmiş son eşitliği elde etmek için iki taraftan $2H_2O$ çıkarınız.

$$3S_2O_4^{2-}(suda) + 2\text{-}CrO_4^{2-}(suda) + 2\,H_2O(s) + 2\,OH^-(suda) \longrightarrow 6\,SO_3^{2-}(suda) + 2\,Cr(OH)_3(k)$$

4. *Stokiyometrik hesaplamaları tamamlayınız.*

Dönüşüm yolu:100,0 L atık su. ⟶ mol CrO_4^{2-} ⟶ mol $S_2O_4^{2-}$ ⟶ mol $Na_2S_2O_4$ ⟶ g $Na_2S_2O_4$

$$?\ g\ Na_2S_2O_4 = 100{,}0\ L \times \frac{0{,}0148\ mol\ CrO_4^{2-}}{1\ L} \times \frac{3\ mol\ S_2O_4^{2-}}{2\ mol\ CrO_4^{2-}} \times \frac{1\ mol\ Na_2S_2O_4}{1\ mol\ S_2O_4^{2-}} \times \frac{174{,}1\ g\ Na_2S_2O_4}{1\ mol\ Na_2S_2O_4} = 387\ g\ Na_2S_2O_4$$

Değerlendirme

Bu problemin çözümü sırasında en çok çaba bazik koşullarda redoks eşitliğini denkleştirmede harcanmış ve ditiyonit ile kromat iyonları arasında mol ilişkisi kurulmuştur. Çözümün geri kalanı Örnek 4-11'deki gibi (sayfa 128) stokiyometrik hesaplamalardır. Bütün bunlardan sonra da (1) redoks eşitliğinin hatasız denkleştirildiğinin, (2) CrO_4^{2-} mol sayısının yaklaşık 1,5 (100 × 0,0148), $S_2O_4^{2-}$ mol sayısının yaklaşık 2,25 (1,5 × 3/2) ve $Na_2S_2O_4$ kütlesinin 350' den (2,25 × 175) biraz fazla olduğunun hızlı bir sağlaması yapılmalıdır.

ALIŞTIRMA A: 0,1432 g örnekteki potasyum klorat ($KClO_3$) miktarı, şöyle tayin edilmiştir. Numune, 50,00 mL 0,09101 M $Fe(NO_3)_2$ çözeltisinde çözülmüş ve çözelti asitlendirilmiştir. Fe^{2+} nin fazlası 12,59 mL 0,08362 M $Ce(NO_3)_4$ çözeltisi ile geri titre edilmiştir. Örnekteki $KClO_3$ ün kütlece yüzdesi nedir? Tepkimelerin kimyasal eşitlikleri aşağıdaki gibidir:

ClO_3^-(suda) + Fe^{2+}(suda) → Cl^-(suda) + Fe^{3+}(suda)(denkleştirilmedi)

ve Fe^{2+}(suda) + Ce^{4+}(suda) → Fe^{3+}(suda) + Ce^{3+}(suda).

ALIŞTIRMA B: 7,25 g örnekteki arsenik (As) miktarı, , arseniğin arsenöz asite, (H_3AsO_3) dönüştürülüp, bu asitin 23,77 mL 0,02144 M $KMnO_4$ ile titrasyonu ile tayin edilmiştir. Örnekteki arseniğin kütle yüzdesi nedir? Titrasyon tepkimesinin denkleştirilmemiş kimyasal eşitliği şöyledir:

$$H_3AsO_3(suda) + MnO_4^-(suda) \longrightarrow H_3AsO_4(suda) + Mn^{2+}(suda).$$

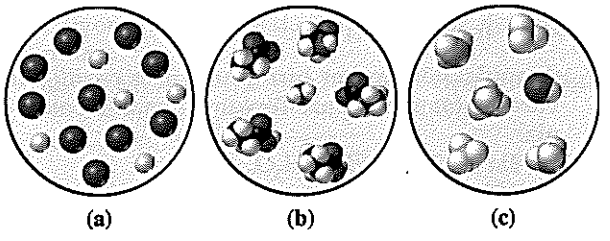
Mastering CHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, bu bölümdeki çalışma alanlarına ait kişisel çalışma sorularına ulaşabilirsiniz

Alıştırmalar

Kuvvetli Elektrolitler, Zayıf Elektrolitler, Elektrolit Olmayanlar

1. Bu bölümde verilen bilgilerden yararlanarak aşağıdakilerden hangilerinin sulu çözeltide kuvvetli elektrolit, zayıf elektrolit veya elektrolit olmadığını gösteriniz. (a) HC_6H_5O; (b) Li_2SO_4; (c) MgI_2; (d) $(CH_3CH_2)_2O$; (e) $Sr(OH)_2$.
2. Aşağıdaki çözeltilerin hangileri elektriği **(a)** en iyi iletir, **(b)** en zayıf iletir? Seçiminizi açıklayınız: 0,10 M NH_3; 0,10 M NaCl; 0,10 M CH_3COOH (asetik asit); 0,10 M CH_3CH_2OH (etanol).
3. Şekil 5-4'de verilen düzenekte 1,0 M HCl denense ne beklersiniz? Çözeltide 1,0 M HCl ve 1,0 M CH_3COOH birlikte bulunursa ne gözlemlersiniz?
4. NH_3(suda) elektriği zayıf iletir. Aynı durum $HC_2H_3O_2$(suda) için de geçerlidir. Oysa bu iki çözelti karıştırıldığında oluşan çözelti iyi bir iletkendir. Bunu nasıl açıklarsınız?
5. **(a-c)** şekilleri, bir sulu çözeltide çözünen maddelerin molekül görünümleridir. Her bir şekil için çözünen madde kuvvetli elektrolitmidir, zayıf elektrolit midir veya elektrolit değil midir belirtiniz. Çözünen madde aşağıdakilerden hangisidir: sodyum klorür, propiyonik asit, hipokloröz asit, amonyak, baryum bromür, amonyum klorür, metanol?



6. Alıştırma 5 de üç maddeyi belirledikten sonra kalan diğer dördünün sulu çözeltideki molekül görünümlerini çiziniz.

İyon Derişimleri

7. Aşağıdaki çözeltilerde belirtilen iyonun derişimini bulunuz. (a) 0,238 M KNO_3 içinde $[K^+]$; (b) 0,167 M $Ca(NO_3)_2$ içinde $[NO_3^-]$; (c) 0,083 M $Al_2(SO_4)_3$ içinde $[Al^{3+}]$; (d) 0,209 M Na_3PO_4 içinde $[Na^+]$.
8. Hangi çözeltide $[SO_4^{2-}]$ derişimi en yüksektir: (a) 0,075 M H_2SO_4; (b) 0,22 M $MgSO_4$; (c) 0,15 M Na_2SO_4; (d) 0,080 M $Al_2(SO_4)_3$; (e) 0,20 M $CuSO_4$.
9. 0,132 g $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$'nun, 275 mL lik bir sulu çözeltisi hazırlanıyor. Çözeltideki $[OH^-]$ derişimi nedir?
10. Bir çözelti 0,126 M KCl ve 0,148 M $MgCl_2$ içeriyor. Çözeltideki $[K^+]$, $[Mn^{2+}]$ ve $[Cl^-]$ derişimleri nedir?
11. Aşağıdaki katyonların verilen çözeltideki molaritelerini bulunuz. (a) 14,2 mg Ca^{2+}/L; (b) 32,8 mg K^+/100 mL; (c) 225 μg Zn^{2+}/mL.
12. İçme suyunda izin verilen florür iyonu miktarı 0,9 mg F^-/L'dir. Bu değer kaç molar NaF(suda)'e karşılık gelir?
13. Hangi sulu çözeltilerde K^+ derişimi en yüksektir? (a) 0,0850 M K_2SO_4; (b) 1,25 g KBr/100 mL içeren çözelti; (c) 8,1 mg K^+/mL içeren çözelti.
14. Hangi sulu çözeltide H^+ derişimi en yüksektir? (a) 0,011 M CH_3COOH; (b) 0,010 M HCl;(c) 0,010 M H_2SO_4; (d) 1,00 M NH_3. Seçiminizi açıklayınız.
15. 250,0 mL 0,0876 M KI çözeltisine kaç miligram MgI_2 katmalıyız ki, $[I^-] = 0{,}1000$ M olsun?
16. İçinde 12,0 mg/mL K_2SO_4 bulunan 1,00 L çözeltiden 25,0 mL su buharlaştırılırsa $[K^+]$ derişimi ne olur?
17. Hacimlerin toplanabilirliğini kabul ederek, 225 mL 0,625 M KCl ile 615 mL 0,385 M $MgCl_2$ karıştırılması ile elde edilen bir çözeltide $[Cl^-]$ derişimini hesaplayınız.
18. Hacimlerin toplanabilirliğini kabul ederek, 275 mL 0,283 KNO_3, 328 mL 0,421 M $Mg(NO_3)_2$ ve 784 mL H_2O'nun karıştırılması ile elde edilen bir çözeltide $[NO_3^-]$ derişimini hesaplayınız.

Çökme Tepkimelerinin Öngörülmesi

19. Aşağıdaki tepkimelerin net iyonik eşitliklerini yazarak, tamamlayınız. Çökelek oluşup oluşmadığını belirtiniz. Tepkime olmazsa belirtiniz.
    (a) $Na + Br^- + Pb^{2+} + 2\ NO_3^- \longrightarrow$
    (b) $Mg^{2+} + 2\ Cl^- + Cu^{2+} + SO_4^{2-} \longrightarrow$
    (c) $Fe^{3+} + 3\ NO_3^- + Na^+ + OH^- \longrightarrow$
20. Aşağıdaki tepkimelerin net iyonik eşitliklerini yazarak tamamlayınız. Çökelek oluşup oluşmadığını belirtiniz. Tepkime olmazsa belirtiniz.
    (a) $Ca^{2+} + 2\ I^- + 2\ Na^+ + CO_3^{2-} \longrightarrow$
    (b) $Ba^{2+} + S^{2-} + 2\ Na^+ + SO_4^{2-} \longrightarrow$
    (c) $2\ K^+ + S^{2-} + Ca^{2+} + 2\ Cl^- \longrightarrow$
21. Aşağıda verilen koşullarda bir tepkimenin olup olmayacağını öngörünüz. Oluyorsa net iyonik eşitliği yazınız.
    (a) HI(suda) + $Zn(NO_3)_2$(suda) $\longrightarrow$
    (b) $CuSO_4$(suda) + Na_2CO_3(suda) $\longrightarrow$
    (c) $Cu(NO_3)_2$(suda) + Na_3PO_4(suda) $\longrightarrow$
22. Aşağıda verilen durumlarda bir tepkimenin olup olmayacağını öngörünüz. Oluyorsa net iyonik eşitliği yazınız.
    (a) $AgNO_3$(suda) + $CuCl_2$(suda) $\longrightarrow$
    (b) Na_2S(suda) + $FeCl_2$(suda) $\longrightarrow$
    (c) Na_2CO_3(suda) + $AgNO_3$(suda) $\longrightarrow$
23. Aşağıda verilen karışımlarda bulunan katyonları ayırmak için hangi reaktif çözeltisini kullanabiliriz, yani hangi iyon çözeltide, hangisi çökelekte kalır? (*İpucu*: Çizelge 5.1' e bakınız. Suyun da bir reaktif olduğunu düşününüz.)
    (a) $BaCl_2$(k) ve $CaCl_2$(k)
    (b) $MgCO_3$(k) ve Na_2CO_3(k)
    (c) $AgNO_3$(k) ve $Cu(NO_3)_2$(k)
24. Aşağıda verilen karışımlarda bulunan katyonları ayırmada hangi reaktif çözeltisini kullanabiliriz? [*İpucu*: Alıştırma 23 e bakınız.]
    (a) $PbSO_4$(k) ve $Cu(NO_3)_2$(k)
    (b) $Mg(OH)_2$(k) ve $BaSO_4$(k)
    (c) $PbCO_3$(k) ve $CaCO_3$(k)
25. Elimizde NaOH(suda), K_2SO_4(suda), $Mg(NO_3)_2$(suda), $BaCl_2$(suda), NaCl (suda), $Sr(NO_3)_2$(suda), Ag_2SO_4 (k) ve $BaSO_4$ (k) bulunmaktadır. Bunlardan hangisinin ya da hangilerinin karıştırılması halinde (a) $SrSO_4$ (k), (b) $Mg(OH)_2$(k), (c) KCl(suda) meydana gelir? Net iyonik eşitlikleri yazınız.
26. Alıştırma 25'deki bileşik ve çözeltilerin bir ya da daha çoğunu kullanarak (a) $BaSO_4$(k); (b) AgCl(k); (c) KNO_3(suda) ı nasıl elde edersiniz? Net iyonik eşitlikleri yazınız.

Asit-Baz Tepkimeleri

27. Aşağıdakilerden her birinin *net iyonik eşitliğini* yazarak tamamlayınız. Tepkime olmazsa belirtiniz:
    (a) $Ba^{2+} + 2\ OH^- + HC_2H_3O_2 \longrightarrow$
    (b) $H^+ + Cl^- + HC_3H_5O_2 \longrightarrow$
    (c) $FeS(k) + H^+ + I^- \longrightarrow$
    (d) $K^+ + HCO_3^- + H^+ + NO_3^- \longrightarrow$
    (e) $Mg(k) + H^+ \longrightarrow$
28. Her antiasit, mide asidinin (HCl) fazlası ile tepkiye girebilen bir ya da daha çok sayıda bileşen içerir. Oluşan tepkimede nötürleşme ürünü olarak CO_2 ve/veya H_2O meydana gelir. Aşağıda çok kullanılan antiasitlerin nötürleştirme etkisini gösteren net iyonik eşitleri yazınız.
    (a) Alka - Seltzer (sodyum bikarbonat)
    (b) Tums (kalsiyum karbonat)
    (c) Magnezya sütü (magnezyum hidroksit)
    (d) Maalox (magnezyum hidroksit, aluminyum hidroksit)
    (e) Rolaids ($NaAl(OH)_2CO_3$)

29. Bu bölümde asidi H^+ verebilen, tuzu ise bir asit ve bir bazın nötaeşmesinden meydana gelen bir iyonik bileşik olarak tanımladık. Soydum hidrojen sülfatın hem tuz hem de asit özelliği taşıdığını gösteren iyonik eşitlikler yazınız (bu tuza bazen *asit tuz* denir).

30. Bir baz ve bir asit arasındaki nötürleşme tepkimesi yararlı tuzların hazırlanmasında bilinen bir yöntemdir. Aşağıdaki tuzların bu yolla hazırlanmasını gösteren net iyonik eşitlikler veriniz: (a) $(NH_4)_2HPO_4$; (b) NH_4NO_3 ve (c) $(NH_4)_2SO_4$.

Yükseltgenme-İndirgenme (Redoks) Eşitlikleri

33. Aşağıdaki tepkimelerde elementlerin yükseltgenme basamaklarını belirleyiniz. Hangisinin redoks tepkimesi olduğunu, hangisinin olmadığını belirtiniz
(a) $MgCO_3(k)+2\,H^+(suda) \longrightarrow Mg^{2+}(suda)+H_2O+CO_2(g)$
(b) $Cl_2(suda)+2\,Br^-(suda) \longrightarrow 2\,Cl^-(suda)+Br_2(suda)$
(c) $Ag(k)+2\,H^+(suda)+NO_3^-(suda) \longrightarrow Ag^+(suda)+H_2O+NO_2(g)$
(d) $2\,Ag^+(suda)+CrO_4^{2-}(suda) \longrightarrow Ag_2CrO_4(k)$.

34. Aşağıdaki tepkimelerin neden yazıldığı gibi oluşamayacağını açıklayınız.
(a) $Fe^{3+}(suda)+MnO_4^-(suda)+H^+(suda) \longrightarrow Mn^{2+}(suda)+Fe^{2+}(suda)+H_2O(s)$
(b) $H_2O_2(suda)+Cl_2(suda) \longrightarrow ClO^-(suda)+O_2(g)+H^+(suda)$

35. Aşağıdaki yarı-eşitlikleri tamamlayınız ve denkleştiriniz. Hangisinde yükseltgenme, hangisinde indirgenme olduğunu belirtiniz.
(a) $SO_3^{2-} \longrightarrow S_2O_3^{2-}$ (asidik çözelti)
(b) $HNO_3 \longrightarrow N_2O(g)$ (asidik çözelti)
(c) $Al(k) \longrightarrow Al(OH)_4^-$ (bazik çözelti)

36. Yarı-eşitlikleri tamamlayıp denkleştiriniz. Hangisinde yükseltgenme hangisinde indirgenme olduğunu yazınız.
(a) $C_2O_4^{2-} \longrightarrow CO_2$ (asidik çözelti)
(b) $Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow Cr^{3+}$(asidik çözelti)
(c) $MnO_4^- \longrightarrow MnO_2$ (bazik çözelti)

37. Aşağıda, asidik çözeltilerde meydana gelen redoks tepkimelerinin eşitliklerini denkleştiriniz.
(a) $MnO_4^-+I^- \longrightarrow Mn^{2+}+I_2(k)$
(b) $BrO_3^-+N_2H_4 \longrightarrow Br^-+N_2$
(c) $VO_4^{3-}+Fe^{2+} \longrightarrow VO^{2+}+Fe^{3+}$
(d) $UO^{2+}+NO_3^- \longrightarrow UO_2^{2+}+NO(g)$

38. Aşağıda asidik çözeltilerde meydana gelen redoks tepkimelerinin eşitliklerini denkleştiriniz.
(a) $P_4(k)+NO_3^- \longrightarrow H_2PO_4^-+NO(g)$
(b) $S_2O_3^{2-}+MnO_4^- \longrightarrow SO_4^{2-}+Mn^{2+}$
(c) $HS^-+HSO_3^- \longrightarrow S_2O_3^{2-}$
(d) $Fe^{3+}+NH_3OH^+ \longrightarrow Fe^{2+}+N_2O(g)$

39. Aşağıda bazik çözeltide meydana gelen redoks tepkimelerinin eşitliklerini denkleştiriniz.
(a) $MnO_2(k)+ClO_3^- \longrightarrow MnO_4^-+Cl^-$
(b) $Fe(OH)_3(k)+OCl^- \longrightarrow FeO_4^{2-}+Cl^-$
(c) $ClO_2 \longrightarrow ClO_3^-+Cl^-$
(d) $Ag(k) + CrO_4^{2-} \longrightarrow Ag^+ + Cr(OH)_3(k)$

40. Aşağıda bazik çözeltide meydana gelen redoks tepkimelerinin eşitliklerini denkleştiriniz
(a) $CrO_4^{2-} + S_2O_4^{2-} \longrightarrow Cr(OH)_3(k) + SO_3^{2-}$
(b) $[Fe(CN)_6]^{3-} + N_2H_4 \longrightarrow [Fe(CN)_6]^{4-} + N_2(g)$

31. Aşağıdaki çözeltilerden hangisini sulu $MgCl_2$ çözeltisinden Mg^{2+}'yi çöktürmede kullanabilirsiniz? Açıklayınız. (a) KNO_3(suda); (b) NH_3(suda); (c) H_2SO_4(suda); (d) $HC_2H_3O_2$(suda).

32. Aşağıdakilerden hangisi(leri) HCl ile tepkimeye girerek bir gaz açığa çıkarır? Tepkime(ler) için net iyonik eşitliği(leri) yazınız. (a) Na_2SO_4; (b) $KHSO_4$; (a) $Zn(OH)_2$; (d) $CaCl_2$.

(c) $Fe(OH)_2(k) + O_2(g) \longrightarrow Fe(OH)_3(k)$
(d) $CH_3CH_2OH + MnO_4^- \longrightarrow CH_3COO^- + MnO_2(k)$

41. Aşağıdaki yarılma (disproporsiyonlanma) tepkimelerinin eşitliklerini denkleştiriniz
(a) $Cl_2(g) \longrightarrow Cl^- + ClO_3^-$(bazik çözeltide)
(b) $S_2O_4^{2-} \longrightarrow S_2O_3^{2-} + HSO_3^-$ (asidik çözeltide)

42. Aşağıdaki yarılma (disproporsiyonlanma) tepkimelerinin eşitliklerini denkleştiriniz.
(a) $MnO_4^{2-} \longrightarrow MnO_2(k) + MnO_4$(bazik çözeltide)
(b) $P_4(k) \longrightarrow H_2PO_2^- + PH_3(g)$ (bazik çözeltide)
(c) $S_8(k) \longrightarrow S^{2-} + S_2O_3^{2-}$(bazik çözeltide)
(d) $As_2S_3 + H_2O_2 \longrightarrow AsO_4^{3-} + SO_4^{2-}$

43. Aşağıdaki redoks tepkimeleri için denkleştirilmiş eşitlikler yazınız.
(a) Asidik çözeltide, nitrit iyonunun permanganat iyonu (MnO_4^-) ile nitrat iyonuna yükseltgenmesi (MnO_4^- iyonu Mn^{2+}'ye indirgenmektedir).
(b) Mangan(II) iyonu ve permanganat iyonun, bazik çözeltide mangan dioksiti oluşturması.
(c) Asidik çözeltide, dikromat iyonu etanolü yükseltgerken, asetaldehitin (CH_3CHO) ile krom(III) iyonu ve su oluşması.

44. Aşağıdaki redoks tepkimeleri için denkleştirilmiş eşitlikler yazınız.
(a) Alüminyum metalinin hidroiyodik asitle tepkimesi
(b) Çinko metali ile asidik çözeltide vanadil iyonunun (VO^{2+}), vanadik iyonuna, (V^{3+}) indirgenmesi.
(c) Metanolün, klorat iyonu ile asidik çözeltide yükseltgenerek karbon dioksit gazı, su ve klor dioksit gazı oluşturması

45. Aşağıdaki tepkimeler sulu çözeltide oluşmaz. Bu eşitlikleri yarı-eşitlik yöntemi ile, 5-2'deki Merak Ediyorsanız kısmını da dikkate alarak denkleştiriniz.
(a) $CH_4(g)+NO(g) \longrightarrow CO_2(g)+N_2(g)+H_2O(g)$
(b) $H_2S(g)+SO_2(g) \longrightarrow S_8(k)+H_2O(g)$
(c) $Cl_2O(g)+NH_3(g) \longrightarrow N_2(g)+NH_4Cl(k)+H_2O(s)$

46. Aşağıdaki tepkimeler sulu çözeltide oluşmaz. 5-2'deki Merak Ediyorsanız kısmından yararlanarak, bu eşitlikleri yarı-eşitlik yöntemi ile denkleştiriniz.
(a) $CH_4(g)+NH_3(g)+O_2(g) \longrightarrow HCN(g)+H_2O(g)$
(b) $NO(g)+H_2(g) \longrightarrow NH_3(g)+H_2O(g)$
(c) $Fe(k)+H_2O(s)+O_2(g) \longrightarrow Fe(OH)_3(k)$

Yükseltgen ve İndirgenler

47. Aşağıdaki redoks tepkimelerinde yükseltgen ve indirgenler hangileridir?
(a) $5\ SO_3^{2-} + 2\ MnO_4^- + 6\ H^+ \longrightarrow 5\ SO_4^{2-} + 2\ Mn^{2+} + 3\ H_2O$
(b) $2\ NO_2(g) + 7\ H_2(g) \longrightarrow 2\ NH_3(g) + 4\ H_2O(g)$
(c) $2\ [Fe(CN)_6]^{4-} + H_2O_2 + 2\ H^+ \longrightarrow 2\ [Fe(CN)_6]^{3-} + 2\ H_2O$

48. Tiyosülfat iyonu ($S_2O_3^{2-}$) bir indirgendir ve yükseltgenin gücüne ve diğer koşullara bağlı olarak faklı ürünlere yükseltgenebilir. Gerekli yerlere H^+, H_2O ve/veya OH^- ekleyerek $S_2O_3^{2-}$ iyonunun aşağıda verilen yükseltgenlerle, yükseltgenmesine ait redoks eşitliklerini yazınız.
(a) I_2 ile $S_2O_6^{2-}$ iyonuna (diğer ürün iyodür iyonudur)
(b) Cl_2 ile HSO_4^- iyonuna (diğer ürün klorür iyonudur)
(c) OCl^- ile bazik çözeltide SO_4^{2-} iyonuna (diğer ürün klorür iyonudur)

49. 10,00 mL 0,128 M HCl'yi tamamen nötürleştirmek için 0,0962 M NaOH çözeltisinden kaç mL gerekir?

Nötralleşme ve Asit-Baz Titrasyonları

50. 10,00 mL 0,1012 M H_2SO_4(suda) çözeltisinin tamamen nötürleşmesi için 23,31 mL NaOH(suda) gerekiyor. NaOH(suda) çözeltisinin molaritesi nedir?
H_2SO_4(suda) + 2 NaOH(suda) $\longrightarrow$ Na_2SO_4(suda) + 2 H_2O(s)

51. 25,00 mL 0,3057 M CH_3CH_2COOH (suda) (propiyonik asit) çözeltisini titre etmek için 2,155 M KOH(suda) çözeltisinden kaç mililitre gereklidir?

52. 50,00 mL 0,0526 M HNO_3(suda) çözeltisini titre etmek için 0,0844 M $Ba(OH)_2$ çözeltisinden kaç mililitre gereklidir?

53. NaOH(suda) çözeltisi, gerekli miktarda NaOH tartılarak doğru derişimde hazırlanamaz. NaOH saf değildir. Ayrıca tartım sırasında havadaki su buharı katı üzerinde yoğunlaşır. Çözelti titrasyonla ayarlanmalıdır. Bu amaçla 25,00 mL NaOH(suda) örneği, 23,34 mL 0,1085 M HCl ile titre ediliyor. NaOH(suda) çözeltisinin molaritesi nedir?
HCl(suda) + NaOHsuda) $\longrightarrow$ NaCl(suda) + H_2O(s)

54. Evde temizlik için kullanılan NH_3(suda) den alınan 5,00 mL örnek, 28,72 mL 1,021 M HCl(suda) ile titre ediliyor. Nötürleşme tepkimesinin net iyonik eşitliği şöyledir.
NH_3(suda) + H^+(suda) $\longrightarrow$ NH_4^+(suda)
Örnekteki NH_3'ün molaritesi nedir?

55. Aspirin tabletlerindeki asetilsalisik asit miktarını NaOH(suda) ile titre ederek tayin etmek istiyoruz. Her bir tabletin 0,32 g $HC_9H_7O_4$ içerdiği kabul edilir. Titrasyonda 23 mL NaOH çözeltisi kullandığımıza göre, NaOH(suda)'ın molaritesi nedir? (Bu deney iki ayrı örnekle 50 mL'lik büret kullanılarak yapılırsa iyi bir kesinlik sağlanabilir.)
$HC_9H_7O_4$(suda) + OH^-(suda) $\longrightarrow$ $C_9H_7O_4^-$(suda) + H_2O(s)

56. Titrasyonlarda kullanmak üzere, derişimi dört anlamlı rakama kadar belli olan 20 L HCl(suda) hazırlamak istiyoruz. İki basamaklı bir deney yapabiliriz. Önce, yaklaşık 0,10 M HCl çözeltisi hazırlarız. Sonra, bu seyreltik HCl(suda) örneğini, derişimi bilinen bir NaOH(suda) çözeltisi ile titre ederiz.
(a) Su ile seyrelterek 20,0 L 0,01 M HCl çözeltisi hazırlamak için derişik HCl den (d =1,19 g/mL, kütlece %38 HCl) kaç mililitre almalıyız?
(b) (a) da hazırlanılan ve yaklaşık 0,15 M olan çözeltiden alınan 25,00 mL örneği titre etmek için 20,93 mL 0,1186 M NaOH gereklidir. HCl(suda)'nun molaritesi nedir?
(c) Titrasyon neden gereklidir? Yani, biz neden 0,10 M standart HCl çözeltisini doğrudan derişik HCl(suda) çözeltisini seyrelterek hazırlayamayız?

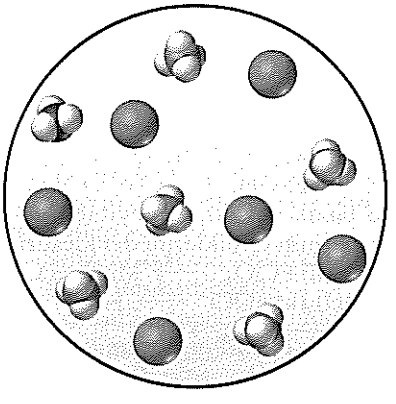
57. 25,00 mL 0,132 M HNO_3 ile 10,00 mL 0,318 M KOH karıştırılıyor. Elde edilen çözelti asidik mi, bazik mi, yoksa tam nötür müdür?

58. 7,55 g Na_2CO_3(k) örneği, derişimi 0,762 M CH_3COOH olan 125 mL sirkeye ekleniyor. Elde edilen çözelti hala asidik mi olacaktır? Açıklayınız.

59. Örnek 5-9'u göz önüne alınız. 5,00 mL sirkeyi titre etmek için 1,000 M NaOH kullandığınızı varsayınız. Sirkede kütlece % 4'lük minimum yasal asetik asidin bulunduğunu anlamak için kaç mL 0,1000 M NaOH gereklidir?

60. Etkin olarak çalışan bir akümülatörde elektrolit olan H_2SO_4 derişimi 4,8 ile 5,3 M aralığındadır. Bu akümülatör suyundan alınan 5,00 mL'lik bir örnek 49,74 mL 0,935 M NaOH ile nötürleştirilmiştir. Akünün asit derişimi istenen aralıkta mıdır? [*İpucu*: H_2SO_4'ün formül birimi başına $2H^+$ iyonu verdiğini unutmayınız.]

61. Aşağıdaki şıklarda verilen titrasyonlardan hangisi şekilde verilen molekül görünümünü ifade eder?
(a) NH_4Cl(suda)'ün HCl(suda) ile titrasyonunda gerekli titrantın % 20'sinin eklenmesi



(b) NH_3(suda)'ün HCl(suda) ile titrasyonunda gerekli titrantın % 20'sinin eklenmesi
(c) NH_3(suda)'ün HCl(suda) ile titrasyonunda eşdeğerlik noktası
(d) NH_3(suda)'ün HCl(suda) ile titrasyonunda gerekli titrantın %120'sinin eklenmesi

62. Alıştırma 61' deki şekli kullanarak aşağıdaki durumlar için çözeltinin molekül görünümünü çiziniz.
(a) HCl(suda)'nin KOH(suda) ile titrasyonunda eşdeğerlik noktasında
(b) CH_3COOH(suda), NaOH(suda) ile titrasyonunda yarı eşdeğerlik noktasında

Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimelerinin Stokiyometrisi

63. Bir $KMnO_4$(suda) çözeltisi As_2O_3(k)' e karşı titrasyonla ayarlanmıştır. 0,1078 g As_2O_3 örneğini titre etmek için 22,15 mL $KMnO_4$(suda) çözeltisi gerekmektedir. $KMnO_4$(suda) çözeltisinin molaritesi nedir?

$$5\,As_2O_3 + 4MnO_4^- + 9H_2O + 12\,H^+ \longrightarrow 10\,H_3AsO_4 + 4Mn^{2+}$$

64. Örnek 5-6 yı göz önüne alınız. Bir atık suda tek indirgenin SO_3^{2-} olduğunu varsayınız. 25,00 mL'lik bir atık su örneği 31,46 mL 0,02237 M $KMnO_4$ ile titre edilirse, atık sudaki SO_3^{2-} molaritesi nedir?

65. Bir demir filizinden 0,9132 g örnek alınıp HCl(suda) de çözülmüş ve Fe^{2+}(suda) elde edilmiştir. Bu çözelti 28,72 mL 0,05051 M $K_2Cr_2O_7$(suda) ile titre edilmiştir. Filiz örneğindeki kütlece %Fe ne kadardır?

$$6\,Fe^{2+} + 14\,H^+ + Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow 6\,Fe^{3+} + 2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O$$

66. Bazik bir çözeltide Mn^{2+} derişimi MnO_4^-(suda) ile titre edilerek belirlenebilir.

$$Mn^{2+} + MnO_4^- \longrightarrow MnO_2(k)\ \text{(denkleştirilmemiş)}$$

25,00 mL Mn^{2+}(suda) örneği 37,21 mL 0,04162 M $KMnO_4$(suda) ile titre ediliyor. Örnekteki $[Mn^{2+}]$ nedir?

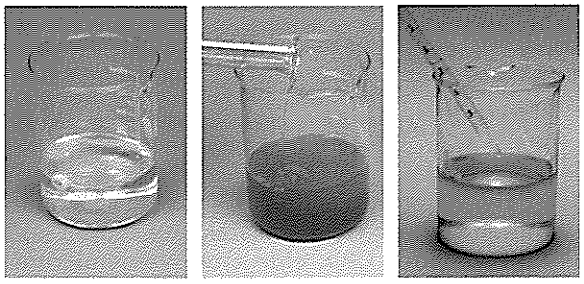
67. 50,0 mL doymuş sodyum okzalat, $Na_2C_2O_4$, çözeltisi 25,8 mL 0,02140 M $KMnO_4$ ile titre ediliyor. Bu doymuş okzalat çözeltisinin 1,00 L'sinde kaç gram $Na_2C_2O_4$ bulunur?

$$C_2O_4^{2-} + MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+} + CO_2(g)\ \text{(denkleştirilmemiş)}$$

68. Pekiştirici Örneği göz önüne alınız. $1{,}00\times10^2$ L atık su çözeltisinin arıtılmasında 0,0126 M CrO_4^{2-} çözeltisi kullanılmaktadır. Buna göre, (a) kaç gram $Cr(OH)_3$(k) çökelmiştir? (b) kaç gram $Na_2S_2O_4$ harcanmıştır?

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

69. Aşağıdaki fotoğraflarda gösterilen tepkimeler için net iyonik eşitlikler yazınız. (a) Sodyum metalinin su ile tepkimeye girip hidrojen gazı oluşturması; (b) Demir(III) klorür çözeltisinin aşırısının (a) çözeltisine eklenmesi; (c) (b) den elde edilen çökeleğin HCl(suda) nun aşırısı ile muamelesi.



(a) (b) (c)

70. Aşağıda verilen bazı yöntemler laboratuvarda az miktarda kimyasal madde elde etmek için sık sık kullanılmaktadır. Her biri için denkleştirilmiş eşitlikleri yazınız.
(a) H_2S (g) eldesi: FeS (k)'in HCl(suda) ile ısıtılması
(b) Cl_2(g) eldesi: MnO_2(k)'nın HCl(suda) ile ısıtılması [$MnCl_2$(suda) ve H_2O(suda) diğer ürünlerdir.]
(c) N_2(g) eldesi: Br_2 ve NH_3 ün sulu çözeltide tepkimesi, diğer ürün NH_4Br'dir.
(d) Kloröz asidin eldesi: Katı barvum kloritin sulu süspansiyonunun seyreltik H_2SO_4(suda) ile muamelesi

71. Na_2HPO_4(suda) çözeltisine derişik $CaCl_2$(suda) eklendiğinde kütlece %38,7 Ca içeren beyaz bir çökelek meydana gelir. Burada olası tepkimeyi gösteren net iyonik eşitliği yazınız.

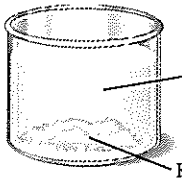
72. Elimizde 0,0250 M $Ba(OH)_2$ çözeltisi ve 1,00; 5,00; 10,00; 25,00 ve 50,00 mL'lik pipetlerle 100,0; 250,0; 500,0 ve 1000,0 mL'lik ölçülü erlenler bulunmaktadır. Bu malzemelerle $[OH^-]$ derişimi 0,0100 M olan bir çözeltiyi nasıl hazırlayabileceğinizi açıklayınız.

73. Ayarlı sodyum hidroksit, NaOH(suda), çözeltisi hazırlamak için yapılan asit-baz titrasyonunda; bir miktar sodyum karbonatla kirlenmiş sodyum hidroksit kullanılır. Buna göre: (a) Çok duyarlı çalışmalar hariç, örneğin HCl(suda)' yi titre etmek için Na(OH)(suda) kullandığımızda bu sodyum karbonatın varlığı elde edilecek sonucu önemli oranda etkilemez, neden? Açıklayınız. (b) Diğer yandan eğer NaOH(suda) çözeltisinde %1-2 den daha fazla Na_2CO_3 bulunuyorsa titrasyon sonuçlarının etkileneceğini gösteriniz.

74. 110,520 g maden suyu örneği magnezyum içeriği bakımından analiz edilmiştir. Örnekteki Mg^{2+} önce $MgNH_4PO_4$ şeklinde çöktürülmüş ve sonra bu çökelek $Mg_2P_2O_7$ şekline çevrilmiştir. $Mg_2P_2O_7$ nin ağırlığı 0,0549 g ise örnekteki, magnezyum miktarı milyonda kaç kısımdır (yani, bir milyon gram suda gram olarak magnezyum bulunur).

75. 335 mL 0,186 M KCl çözeltisine kaç mL 0,248 M $CaCl_2$ eklendiğinde, son çözeltide 0,250 M Cl^- iyonu bulunur. Çözelti hacimlerinin eklenebilirliğini kabul ediniz.

76. *Beyaz* bilinmeyen bir katı herbiri farklı katyondan oluşan iki bileşik içermektedir. Şekilde gösterildiği gibi, bilinmeyen katı suda kısmen çözünür. Bu çözelti NaOH(suda) ile muamele edilirse beyaz bir çökelek meydana gelir. Bilinmeyen orijinal katının suda çözünmeyen kısmı HCl(suda) de gaz çıkışı ile çözünür ve $(NH_4)_2SO_4$(suda) çözeltisi ile beyaz bir çökelek oluşturur. **(a)** Bilinmeyen katıda aşağıdaki katyonlardan hangileri bulunabilir: Mg^{2+}, Ca^{2+}, Ba^{2+}, Na^+, NH_4^+? Nedenini açıklayınız. **(b)** Bilinmeyen karışımda hangi bileşikler vardır? (Yani, hangi anyonlar bulunabilir?)



Çözelti
+
KOH(su) ⟶ beyaz çökelti

Katı
+
HCl(su) ⟶ çökelti+ gaz
+
$(NH_4)_2SO_4$(su) ⟶ beyaz çökelti

77. Aşağıdaki tepkimelerin eşitliklerini asidik çözeltide denkleştiriniz.
(a) $IBr + BrO_3^- + H^+ \longrightarrow IO_3^- + Br^- + H_2O$
(b) $C_2H_5NO_3 + Sn \longrightarrow NH_2OH + C_2H_5OH + Sn^{2+}$
(c) $As_2S_3 + NO_3^- \longrightarrow H_3AsO_4 + S + NO$
(d) $H_5IO_6 + I_2 \longrightarrow IO_3^- + H^+ + H_2O$
(e) $S_2F_2 + H_2O \longrightarrow S_8 + H_2S_4O_6 + HF$

78. Aşağıdaki tepkimelerin eşitliklerini bazik çözeltide denkleştiriniz.
(a) $Fe_2S_3 + H_2O + O_2 \longrightarrow Fe(OH)_3 + S$
(b) $O_2^- + H_2O \longrightarrow OH^- + O_2$
(c) $CrI_3 + H_2O_2 \longrightarrow CrO_4^{2-} + IO_4^-$
(d) $Ag + CN^- + O_2 + OH^- \longrightarrow [Ag(CN)_2]^- + H_2O$
(e) $B_2Cl_4 + OH^- \longrightarrow BO_2^- + Cl^- + H_2O + H_2$

79. Elementel fosfordan, (P_4) fosfin, (PH_3) eldesinde kullanılan bir yöntemde P_4, H_2O ile ısıtılır. Diğer ürün H_3PO_4 dür. Bu tepkime için denkleştirilmiş bir eşitlik yazınız.

80. Demir (Fe) açık maden ocaklarındaki kayaların parçalandıktan sonra özütlenmesi ile elde edilir. Bu işlem, parçalanmış kayaların oluşturduğu *tortu* (tailings) denilen atık katılardan saf metal eldesinde kullanılır. Maden ocaklarının yakınında depolanan bu atıklar, pirit (FeS_2) gibi sülfürler içerdiği için ciddi bir çevre sorunu yaratırlar ve bunların havada oksitlenmesi ile meydana gelen metal iyonları ve hidrojen iyonları yerüstü veya yeraltı sularına karışabilir. FeS_2 nin Fe^{3+} e yükseltgenmesi aşağıda denkleştirilmemiş kimyasal eşitlikle gösterilmiştir.

$FeS_2(k) + O_2(g) + H_2O(s) \longrightarrow$
$Fe^{2+}(suda) + SO_4^{2-}(suda) + H^+(suda)$ (denkleştirilmemiş)

Süzülerek geçen H^+ iyonları suyun çok asidik olmasına neden olur. Yerüstü ve yer altı sularının asitlenmesini önlemek amacıyla bu tortulara, H^+ iyonlarını nötürleştirmek için kireç taşı ($CaCO_3$) katılır.

$CaCO_3(k) + 2\,H^+(suda) \longrightarrow Ca^{2+}(suda) + H_2O(s) + CO_2(g)$

(a) FeS_2 ile O_2' nin yukarıda verilen tepkimesinin eşitliğini denkleştiriniz. (*İpucu*: $FeS_2(k) \rightarrow Fe^{3+}(suda) + SO_4^{2-}(suda)$ ve $O_2(g) \rightarrow H_2O(s)$ yarı-eşitliklerinden başlayınız)

(b) Kirlenmeyi önlemek için kütlece %3 S içeren katı atığın 1 kilogramına eklenmesi gereken $CaCO_3$ miktarı en az ne kadardır?

81. Bir batarya asidi örneği sülfürik asit içeriği bakımında analiz edilmiştir. 1,00 mL örnek 1,239 g gelmektedir. Bu örnek 250,0 mL ye seyreltilip bundan 10,00 mL alınıyor, sonrada 32,44 mL 0,00498 M $Ba(OH)_2$ ile titre ediliyor. Batarya asidindeki H_2SO_4 ün kütlece yüzdesi nedir? (H_2SO_4'in tam olarak iyonlaştığını ve nötürleştiğini varsayınız.)

82. Bir mermer parçası (saf $CaCO_3$ olduğunu varsayınız) 2,00 L 2,52 M HCl ile tepkimeye giriyor. Mermer çözündükten sonra çözeltiden 10,00 mL'lik bir örnek alınıyor ve üzerine bir miktar su eklendikten sonra 24,87 mL 0,9987 M NaOH ile titre ediliyor. Mermer paçasının kütlesi nedir? Bu yöntemin duyarlılığını tartışınız. Yani sonuçta kaç anlamlı rakam olabilir?

83. Aşağıdaki yöntem az miktarda $Cl_2(g)$ elde etmek için laboratuarda kullanılabilir. Kütlece %98,5 $K_2Cr_2O_7$ içeren 62,6 g örnek, yoğunluğu 1,15 g/mL olan ve kütlece %30,1 HCl(suda) içeren 325 mL'lik çözelti ile tepkimeye sokulduğunda, oluşan $Cl_2(g)$ kütlesi nedir?

$Cr_2O_7^{2-} + H^+ + Cl^- \longrightarrow Cr^{3+} + H_2O + Cl_2(g)$ (denkleştirilmemiş)

84. Örnek 5-10' u göz önüne alarak, $KMnO_4$(suda) çözeltisinin demir tel yerine As_2O_3 ile ayarlandığını varsayınız. Titrasyonda, kütlece %99,96 As_2O_3 içeren örnekten 0,1304 g kullanılırsa, kaç mL $KMnO_4$(suda) harcanır?

$As_2O_3 + MnO_4^- + H^+ + H_2O \longrightarrow H_3AsO_4 + Mn^{2+}$ (denkleştirilmemiş)

85. Suların arıtım işleminde Cl_2 yerine son zamanlarda yeni bir yöntem olarak klor dioksit kullanılmaktadır. ClO_2 elde etme yöntemlerinden biri, derişik sodyum klorit çözeltisinden $Cl_2(g)$ geçirmektedir. Diğer ürün NaCl(suda)'dür. Tepkime verimi %97 ise, bu işlemde 2,0 M $NaClO_2$(suda)'nin bir galonu (1 galon= 3,71) başına elde edilen ClO_2 'nin kütlesi nedir?

86. $CaCO_3$ diyet tabletlerinin içindeki aktif kalsiyum bileşiklerinden bir tanesidir. 1,2450 gramlık bir tablet 50,00 mL 0,5000 M HCl ile tepkimeye sokuluyor. Tepkime tamamlandıktan sonra artan HCl' in titrasyonu için 40,20 mL 0,2184 M NaOH kullanıldığına göre tabletteki kalsiyum, Ca^{2+}, miktarını miligram olarak bulunuz.

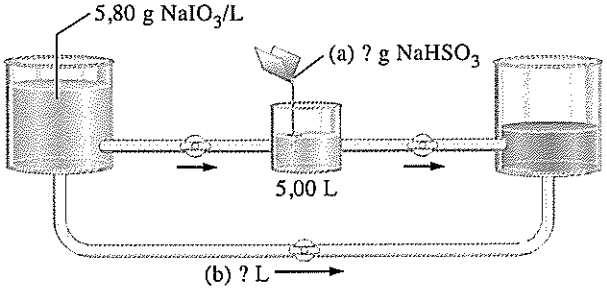
87. 0,4324 g potasyum hidroksit-lityum hidroksit karışımı, 28,28 mL 0,3520 M HCl(suda) ile eşdeğerlik noktasına kadar titre ediliyor. Bu karışımda lityum hidroksitin kütle yüzdesi nedir?

88. Şili tuzu denen bir madde $NaNO_3$'ün doğal kaynağıdır. Bu tuz ek olarak $NaIO_3$ de içerir. $NaIO_3$ da iyot kaynağı olarak kullanılabilir. İyot, sodyum iyodattan asidik ortamda aşağıda verilen iki basamaklı süreçle elde edilir.

$IO_3^-(suda) + HSO_3^-(suda) \longrightarrow$
$I^-(suda) + SO_4^{2-}(suda)$ (denkleştirilmemiş)

$I^-(suda) + IO_3^-(suda) \longrightarrow$
$I_2(k) + H_2O(s)$ (denkleştirilmemiş)

Litresinde 5,80 g $NaIO_3$ içeren 5,00 L $NaIO_3$(suda) çözeltisi stokiyometrik miktarda $NaHSO_3$ (tepkenlerden hiçbirisi aşırı miktarda değil) ile muamele ediliyor. Sonra ikinci tepkimeyi oluşturmak üzere karışıma bir miktar daha $NaIO_3$(suda) katılıyor. Birinci aşamada kaç gram $NaHSO_3$ gereklidir? İkinci aşamada eklenen başlangıç çözeltisinin hacmi nedir?



89. Belirli bir antiasit tabletinin içindeki aktif katkı maddeleri alüminyum hidroksit, $Al(OH)_3$ ve magnezyum hidroksittir, $Mg(OH)_2$. $5,00 \times 10^2$ mg aktif katkı maddeleri örneği 50,00 mL 0,500 M HCl ile çözülüyor. Hala asidik olan son çözeltiyi nötüreştirmek için 5,00 mL 0,377 M NaOH kullanılıyor. Örnekteki $Al(OH)_3$ ve $Mg(OH)_2$'nin kütlece yüzdeleri nedir?

90. İçinde yalnızca Fe ve O bulunan 0,2729 g bileşik örneği 50,00 mL derişik asit içinde çözülmüş ve tüm demir Fe^{2+} iyonlarına indirgenmiştir. Son çözelti 100 mL'ye seyreltilmiş ve 0,01621 M $KMnO_4$ ile titre edilmiştir. Fe^{2+} ve MnO_4^- arasındaki tepkime için denkleştirilmemiş kimyasal eşitlik aşağıda verilmiştir.

$MnO_4^-(suda) + Fe^{3+}(suda) \longrightarrow$
$Mn^{2+}(suda) + Fe^{2+}(suda)$

Titrasyonda pembe dönüm noktasına ulaşmak için 42,17 mL $KMnO_4$ kullanılmıştır. Bileşiğinin basit formülü nedir?

91. Bazı antikoagülant ilaçlarda varfarin, $(C_{19}H_{16}O_4)$ aktif katkı maddesi olarak kullanılır. Bir antikoagülant içindeki varfarin tayini için 13,96 g örnek, önce bazik I_2 çözeltisi ile muamele edilerek varfarin CHI_3 e dönüştürülmüştür. Bu işlemle örnekte başlangıçta bulunan bir mol varfarinden bir mol CHI_3 elde edilir. CHI_3 deki iyot daha sonra aşırı $AgNO_3$(suda) ile katı AgI(k) haline çöktürülür.

$CHI_3(suda) + 3AgNO_3(suda) + H_2O(s) \longrightarrow$
$3AgI(k) + 3HNO_3(suda) + CO(g)$

Elde edilen katı AgI 0,1386 g ise analiz edilen örnekteki varfarinin kütlece yüzdesi nedir?

92. Bakır, CuS filizinin oksijenle kavrulması ile elde edilir. Ne yazık ki bu işlem sırasında çok miktarda, asit yağmuru ve kirleticilerin önemli maddelerinden birisi olan, SO_2 gazı oluşur. Bir başka yöntemde, bakır sülfür filizi, HNO_3'de çözülür ve herhangi bir SO_2 çıkışı olmaz. Bu tepkime için denkleştirilmemiş kimyasal eşitlik aşağıda verilmiştir.

$CuS(k) + NO_3^-(suda) \longrightarrow$
$Cu^{2+}(suda) + NO(g) + HSO_4^-(suda)$ (denkleştirilmemiş)

Bir kilogram CuS için gerekli olan derişik nitrik asidin hacmi nedir? Derişik nitrik asidin, kütlece %70'lik ve yoğunluğunun 1,40 g/mL olduğunu kabul ediniz.

93. Fosfor bitkilerin büyümesi için gereklidir, ancak fazlası sulu ekosistemleri için çok zararlı olabilir. Aşırı fosfor sudaki alglerin hızlı büyümesine neden olur ve bunlar kalan ekosistem için gerekli oksijeni bitirirler.

Arıtma tesislerinde atık su, önemli miktarda $H_2PO_4^-$ ve HPO_4^{2-} içerdiği için göllere veya nehirlere salınmadan önce işlem görmelidir. (Atık sulardaki fosforun kaynağı, içinde Na_2HPO_4 bulunan deterjanlardır.) Bu iyonları uzaklaştırmanın basit bir yolu atık suyu sönmemiş kireçle muamele etmektir. Sönmemiş kireç, (CaO) suda Ca^{2+} ve OH^- iyonları meydana getirir. OH^- iyonu, $H_2PO_4^-$ ve HPO_4^{2-} larını PO_4^{3-} iyonuna dönüştürür ve Ca^{2+}, OH^- ve PO_4^{3-} iyonları birleşerek katı $Ca_5(PO_4)_3(OH)$ halinde çökerler.

(a) Yukarıda anlatılan dört tepkime için denkleştirilmiş kimyasal eşitlikler yazınız. (*İpucu:* Tepkimeye girenler: CaO ve H_2O; $H_2PO_4^-$ ve OH^-; HPO_4^{2-} ve OH^-; Ca^{2+}, PO_4^{3-} ve OH^-)

(b) Atık suyun 1 litresinde 10,0 mg fosfor varsa $1,00 \times 10^4$ L tankı dolduran atık sudaki fosforu uzaklaştırmak için kaç kilogram CaO gerekir?

Özellikli Sorular

94. Sodyum siklopentadienür, NaC_5H_5, laboratuvarlarda bilinen bir indirgendir. Ancak bunun kullanılmasında bir sorun vardır: NaC_5H_5'in hazırlanması sırasında çözücü olarak kullanılan tetrahidrofuran (THF), C_4H_8O, ile kirlenir ve $NaC_5H_5 \cdot (THF)_x$ şeklinde bulunur. Genellikle $NaC_5H_5 \cdot$

$(THF)_x$ in ne kadar bulunduğunu tam olarak bilmek gerekir ve bunun için çok az bir miktarı su ile tepkimeye sokulur.

$$NaC_5H_5\cdot(C_4H_8O)_x + H_2O \longrightarrow NaOH(suda) + C_5H_5{-}H + x\ C_4H_8O$$

Sonra NaOH(suda) ayarlı bir asitle titre edilir. Aşağıdaki verilerilerden yararlanarak, $NaC_5H_5\cdot(THF)_x$ formülündeki x' in değerini bulunuz.

	Deneme 1	Deneme 2
$NaC_5H_5\cdot(THF)_x$ kütlesi	0,242 g	0,199 g
NaOH (suda)'ı titre etmek için gerekli 0,1001 M HCl hacmi;	14,92 mL	11,99 mL

95. Mangan, pirolusit (saf olmayan mangan dioksit) filizinden elde edilir. Pirolusit filizinin içerdiği MnO_2'yi saptamak için 0,533 g örnek, asidik ortamda 1,651 g okzalik asit ($H_2C_2O_4\cdot2H_2O$) ile muamele ediliyor. Okzalik asidin fazlası 30,06 mL 0,1000 M $KMnO_4$ ile titre ediliyor. Filizde kütlece % MnO_2 ne kadardır ?

$$H_2C_2O_4 + MnO_2 + H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + H_2O + CO_2 \text{ (denkleştirilmemiş)}$$

$$H_2C_2O_4 + MnO_2^- + H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + H_2O + CO_2 \text{ (denkleştirilmemiş)}$$

96. Doğal ürünlerdeki protein yüzdesini bulmada Kjeldahl yöntemi kullanılır. Yöntem, protein azotunun (genellikle %16) amonyağa dönüştürülmesi ve bu amonyak miktarının titrasyonla tayini esasına dayanır. Oluşan amonyak miktarından örnekteki azot yüzdesi hesaplanabilir.

1,250 g et örneği, derişik sülfürik asitte ve katalizör varlığında ısıtılarak protein azotu amonyum sülfata, $(NH_4)_2SO_4$, dönüştürülüyor. Sonra karışıma aşırı miktarda NaOH(suda) eklenerek ısıtıldığında NH_3(g) açığa çıkıyor. Örnekteki bütün azotun bulunduğu bu NH_3(g) ısıtılıyor ve 50,00 mL seyreltik H_2SO_4 çözeltisinden geçirilip nötürleştiriliyor. H_2SO_4 ün fazlası 32,24 mL 0,4498 M NaOH'la titre ediliyor. Bağımsız olarak bir başka 25,00 mL seyreltik H_2SO_4 çözeltisinin titrasyonunda 22,24 mL 0,4498 M NaOH kullanılıyor. Etteki protein yüzdesini nedir?

97. Kandaki alkol miktarı (BAC) genellikle kütle-hacım yüzdesi (w/v%) olarak ifade edilir. Örneğin, 100 mL kanda 0,10 g CH_3CH_2OH varsa BAC miktarı, % 0,10'dır. Kandaki tahmini alkol miktarı nefes örneklerinden, çeşitli ticari cihazlar kullanılarak bulunabilir. 1958'de R.F. Borkenstein tarafından patenti alınan Nefes analizörü bunlardan biridir. Bu analizörün temeli, kimya açısından bakıldığında asidik çözeltide aşağıdaki redoks tepkimesine dayanır:

$$\underset{\text{etil alkol}}{CH_3CH_2OH\ (g)} + \underset{\text{(sarı-oranj)}}{Cr_2O_7^{2-}\ (suda)} \longrightarrow CH_3COOH\ (su) + \underset{\text{(yeşil)}}{Cr^{3+}\ (suda)}\ \text{(denkleştirilmemiş)}$$

Cihazın iki ampulü vardır ve her birinde 3 mL, 9 mol/L H_2SO_4(suda) de çözünmüş 0,75 mg $K_2Cr_2O_7$ bulunmaktadır. Ampüllerden birisi referans olarak kullanılmaktadır. Bir kişi Nefes analizörünün tüpüne üflediğinde, nefes ampüllerden birine gider ve nefesteki etil alkol, $Cr_2O_7^{2-}$ iyonunu Cr^{3+} iyonuna dönüştürür. Cihaz iki ampüldeki çözeltilerin renklerini karşılaştırarak önce nefesteki alkol miktarını (BrAC) sonrada kandaki alkol miktarı BAC'yi hesaplar. BrAC' nin, BAC'ye dönüştürülmesinde, ciğerlerden çıkan nefesin 2100 mL' sindeki alkolün, 1 mL kandaki alkole eşit olduğu varsayımı yapılmaktadır. Bu problemde anlatılan kuramlar ve varsayımlar yardımıyla, BAC'si %0,05 olan bir kişi nefes analizörüne 0,500 L nefes üflediğinde, ampullerdeki $K_2Cr_2O_7$ molaritesini, nefes testi öncesi ve sonrası için hesaplayınız.

98. Bu problemde redoks tepkimeleri için eşitliklerin denkleştirilmesinde kullanılan bir başka yönteme değineceğiz. Yöntem, daha önce Çizelge 5.5 ve 5.6 da verilen yönteme benzemekle beraber, yükseltgenme basamaklarını ön plana çıkarmaktadır. (Önceki yöntemde, yükseltgenme basamaklarını kullanmaya gerek duyulmamaktaydı.) Bu yöntemde yükseltgenme basamaklarının dikkate alınmasıyla sadece elektronlar dikkatlice izlenmez, aynı zamanda kimyasal özelliklerin öngörülmesi sağlanabilir. Yöntem aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir.

Asidik veya Bazik Çözeltide Meydana Gelen Redoks Tepkimeleri Eşitliklerinin Denkleştirilmesi Yöntemi

1. Tepkimede her elementin yükseltgenme basamaklarını, yükseltgenen ve indirgenen maddeleri belirleyiniz.
2. Yükseltgenme ve indirgenme yarı-tepkimeleri için ayrı ayrı denkleştirilmemiş eşitlikleri yazınız.
3. İki yarı-eşitliği şu sıraya göre denkleştiriniz:
   - önce yükseltgenen ve indirgenen elementler için
   - sonra bir tarafa ya da diğer tarafa alınan ya da verilen elektron sayısına göre elektron ekleyerek
4. Elektronları yok etmek için iki yarı-eşitliği toplayınız.
5. Yük denkliğini sağlamak için asidik çözeltilerde H^+, bazik çözeltilerde OH^- ekleyiniz.
6. O ve H atomlarını H_2O ekleyerek denkleştiriniz.
7. Son eşitliği atom ve yük denkliği bakımından kontrol ediniz.

Bu yöntemin iki avantajları vardır. 1. Bu yöntem hem asidik hem de bazik ortamlarda uygulanabilir: çünkü H^+(asidik ortam için) ya da OH^- (bazik ortam için) kullanarak yükleri denkleştirebiliriz. 2. Yükleri, bir kez hidrojen ve oksijenleri kullanarak ve sadece bir kez denkleştirdiğimiz için bu yöntem daha önce belirtiğimiz yöntemden daha verimlidir . Halbuki diğer yöntemde, yarı-eşitlikler üzerinde yoğunlaşırız ve bu yarı-eşitlikleri ikişer kez yükler, ikişer kez de H ve O atomları için denkleştirmeliyiz.

Aşağıdaki redoks tepkimelerini burada açıkladığımız yöntemi kullanarak denkleştiriniz.

(a) $Cr_2O_7^{2-}$(suda) + Cl^-(suda) ⟶ Cr^{3+}(suda) + Cl_2(g) (asidik çözelti)

(b) $C_2O_4^{2-}$(suda) MnO_4^-(suda) ⟶ CO_3^{2-}(suda) + MnO_2(suda) (bazik çözelti)

Kendi Kendini Deneme Soruları

99. Aşağıdaki terim veya simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız ya da açıklayınız. **(a)** ⟹ ; **(b)** [ ]; **(c)** gözlemci iyon; **(d)** zayıf asit.

100. Aşağıdaki kavram ve yöntemleri kısaca açıklayınız: **(a)** redoks eşitliklerinin denkleştirilmesinde yarı-eşitlik yöntemi; **(b)** yarılma tepkimesi; **(c)** titrasyon; **(d)** çözeltinin ayarlanması.

101. Aşağıdaki terim çiftleri arasındaki önemli farkları açıklayınız: **(a)** kuvvetli elektrolit ve kuvvetli asit **(b)** yükseltgen ve indirgen **(c)** çökelme tepkimeleri ve nötürleşme tepkimeleri **(d)** yarı-tepkime ve net tepkime.

102. 0,300 L 0,0050 M $Ba(OH)_2$' deki hidroksit iyonunun mol sayısı **(a)** 0,0015; **(b)** 0,0030; **(c)** 0,0050; **(d)** 0,010'dır.

103. En yüksek $[H^+]$ **(a)** 0,10 M HCl; **(b)** 0,10 M NH_3; **(c)** 0,15 M CH_3COOH ; **(d)** 0,1 M H_2SO_4 sulu çözeltisindedir.

104. $Zn(NO_3)_2$(suda)'dan Zn^{2+} 'yi çöktürmek için **(a)** NH_4Cl; **(b)** $MgBr_2$; **(c)** K_2CO_3; **(d)** $(NH_4)_2SO_4$ eklenir.

105. Seyreltik HCl(suda) ile katı **(a)** $BaSO_3$; **(b)** ZnO; **(c)** NaBr; **(d)** Na_2SO_4 tepkimeye girdiğinde gaz çıkışı olur.

106. KI çözeltisi ile $Pb(NO_3)_2$ çözeltisi karıştırıldığında meydana gelen tepkimenin net iyonik eşitliğini yazınız.

107. Sodyum karbonat, Na_2CO_3(suda), çözeltisine seyreltik hidroklorik asit, HCl(suda), eklendiğinde oluşan ürünler sodyum klorür, su, ve karbon dioksittir. Bu tepkime için net iyonik eşitliği yazınız.

108. Sodyum tuzları ve nitrat tuzları çözeltilerinden başlayarak aşağıdaki iyonik bileşiklerin sentezi için net iyonik eşitlikleri yazınız.
(a) $Zn_3(PO_4)_2$;
(b) $Cu(OH)_2$;
(c) $NiCO_3$.

109. Aşağıdaki eşitlikte;
$4NO(g) + 3O_2(g) + 2H_2O(s) \longrightarrow 4NO_3^-(suda) + 4H^+(suda)$
(a) Hangi madde yükseltgenmiştir?
(b) Hangi madde indirgenmiştir?
(c) Hangi madde yükseltgendir?
(d) Hangi madde indirgendir?
(e) Hangi madde elektron almıştır?
(f) Hangi madde elektron vermiştir?

110. Aşağıda verilen eşitlikte eksik katsayılar **(a)** herbiri 2 dir; **(b)** her biri 4 dür; **(c)** aynı olmak koşulu ile herhangi bir sayı olabilir; **(d)** deneysel olarak bulunmalıdır.
$? Fe^{2+}(suda) + O_2(g) + 4H^+(suda) \longrightarrow ? Fe^{3+}(suda) + 2H_2O(s)$

111. Aşağıdaki eşitlik denkleştirildiğinde en basit *a:b* oranı nedir?

$$a\ ClO^-(suda) + b\ I_2(suda) \xrightarrow[\text{çözelti}]{\text{asidik}} c\ Cl^-(suda) + d\ IO_3^-(suda)$$

(a) 2:5; **(b)** 5:2; **(c)** 1:5; **(d)** 5:1; **(e)** 2:3

112. Bir yarı-tepkimede NpO_2^+ iyonu Np^{4+} ya dönüşmektedir. Yarı-eşitlikte yeralan elektronların sayısı: **(a)** 1; **(b)** 2; **(c)** 3; **(d)** 4'dür.

113. Aşağıdaki ifadeleri doğru veya yanlış diye belirtiniz.
(a) Baryum klorür ($BaCl_2$) sulu çözeltide zayıf bir elektrolittir.
(b) Aşağıdaki tepkimede su hem asit, hem de yükseltgendir.
$H^-(suda) + H_2O(s) \rightarrow H_2(g) + OH^-(suda)$
(c) Sodyum karbonat çözeltisine, Na_2CO_3(suda), aşırı miktarda HCl(suda) eklendiğinde bir çökelek oluşur.
(d) Hidroflorik asit, HF, suda kuvvetli bir asittir.
(e) 0,010 M $Mg(NO_3)_2$ çözeltisi 0,010 M $NaNO_3$ çözeltisinden daha iyi bir elektriksel iletkendir.

114. Aşağıdaki tepkimelerden hangileri yükseltgenme-indirgenme tepkimeleridir?
(a) $H_2CO_3(suda) \longrightarrow H_2O(s) + CO_2(g)$
(b) $2Li(k) + H_2O(s) \longrightarrow 2LiOH(k) + H_2(g)$
(c) $4Ag(k) + PtCl_4(suda) \longrightarrow 4AgCl(k) + Pt(k)$
(d) $2HClO_4(suda) + Ca(OH)_2(k) \longrightarrow 2H_2O(s) + Ca(ClO_4)_2(suda)$

115. Şekil 5-4(c)' ye benzer biçimde, ancak HAc, Ac^- ve H_3O^+ formüllerini kullanarak, CH_3COOH(suda) çözeltisinin %5 iyonlaşması için daha doğru bir gösterim veriniz.

116. Ek E' de verilen (kavram haritası oluşturma) yöntemi kullanarak, Kesim 5-4, 5-5 ve 5-6'da verilen farklı kavramlar için bir kavram haritası düzenleyiniz.

6 Gazlar

İÇİNDEKİLER

6-1 Gazların Özellikleri: Gaz Basıncı
6-2 Basit Gaz Yasaları
6-3 Gaz Yasalarının Birleştirilmesi: İdeal Gaz Denklemi ve Genel Gaz Denklemi
6-4 İdeal Gaz Denkleminin Uygulamaları
6-5 Kimyasal Tepkimelerde Gazlar
6-6 Gaz Karışımları
6-7 Gazların Kinetik–Molekül Kuramı
6-8 Kinetik–Molekül Kuramına Bağlı Gaz Özellikleri
6-9 Gerçek (İdeal Olmayan) Gazlar



Basit gaz yasalarının ortaya atılmasından uygulamaya geçirilmesine kadar geçen 200 yıl boyunca, sıcak hava balonları insanların hep merakını çekmiştir.

Bir bisiklet tekerleğini fazla şişirmemelisiniz ya da bir aerosol tüpünü ateş içine atmamalısınız veya açık bir alev ile bir gaz kaçağını aramamalısınız. Bu durumların her birinde patlama tehlikesi vardır. Bunlar ve gazlarla ilgili daha birçok gözlem, bu bölümde yer alan kavramlarla açıklanabilir. Bisiklet tekerleği ve aerosol tüpünün davranışı gazın basınç, sıcaklık, hacim ve miktarı gibi değişkenlerle ilgilidir. Gaz davranışına diğer bazı örnekler, helyum gazı doldurulmuş ya da sıcak hava verilmiş bir balonun havada yükselmesi ve bir kuru buz parçasının doğrudan karbon dioksit gazı çıkararak küçülmesidir. Havadan hafif balonların yükselme gücünü anlamak, büyük ölçüde, gaz yoğunlukları ve bunların kütle, sıcaklık ve basınca bağımlılıkları hakkında bilgi sahibi olmakla mümkündür. Gaz moleküllerinin havada ne kadar uzağa ve ne hızla göç edeceği hakkında öngörüde bulunmak, yayılma (difüzyon) olayı hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirir.

Gazların davranışlarını sayısal olarak belirleyebilmek için bazı basit gaz yasalarını ve daha genel bir ifadeyle *ideal gaz denklemini* kullanacağız. Bu yasalar, gazların kinetik kuramıyla açıklanacaktır. Bu bölümde incelenen başlıklar önceki iki bölümde yer alan tepkime stokiyometrisini daha geniş olarak ele almakta ve termokimya üzerine olan bir sonraki bölümde kullanılmasına zemin hazırlamaktadır.

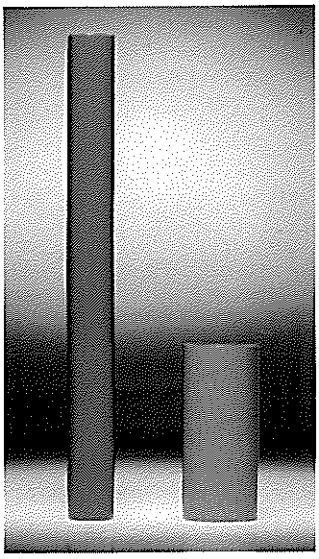


◀ ŞEKİL 6-1
Üç halojenin (17.Grup) gaz hali
Cl_2 (g) yeşilimsi sarı; küçük bir sıvı brom birikintisi üzerindeki Br_2(g) kahverengimsi kırmızı; grimsi-siyah katı iyot ile temas halinde I_2(g) mor renklidir. H_2, O_2, N_2, CO ve CO_2 gibi çok bilinen gazların çoğu renksizdir.

6-1 Gazların Özellikleri: Gaz Basıncı

Gazların bazı özellikleri herkesce bilinir. Gazlar bulundukları kabın şeklini alacak şekilde genleşirler. Diğer bir gaz içinde yayılır ve her oranda karışırlar. Renkli gazları gözle görebilirsek de, gaz taneciklerini gözle göremeyiz (Şekil 6-1). Hidrojen ve metan gibi bazı gazlar yanıcıdır; diğer taraftan, helyum ve neon gibi bazı gazlar kimyasal tepkimeye duyarsızdır.

Gazların fiziksel davranışını dört özellik belirler: mol sayıları, hacimleri, sıcaklıkları ve basınçları. Bunlardan herhangi üçü bilindiği takdirde, *hal denklemi* olarak bilinen matematiksel bir denklem kullanarak, kalanın değerini genellikle hesaplayabiliriz (sayfa 204 te verilen ideal gaz denklemi gibi). Miktar, hacim ve sıcaklık gibi özellikler şimdiye kadar belirli ölçüde incelendi. Burada basınç kavramının daha ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir.



▲ ŞEKİL 6-2
Bir katının oluşturduğu basıncın gösterilişi
İki silindir de aynı kütleye sahiptir ve dayandıkları yüzeye aynı kuvveti uygularlar ($F = g \times m$). Ancak, ince ve uzun olan silindir daha az değme yüzeyine sahip olduğundan, daha fazla basınç uygular (P = F/A).

Basınç Kavramı

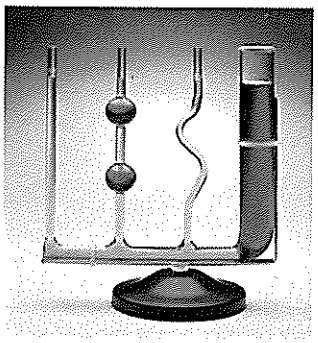
Bir balon havayla doldurulduğu zaman şişer. Acaba balonu şişirilmiş halde tutan nedir? Geçerli varsayım, sabit hızdaki gaz moleküllerinin birbirleri ve içinde bulundukları kabın çeperi ile çarpışmasıdır. Gaz molekülleri, bu çarpışma nedeniyle kabın iç duvarlarına bir *kuvvet* uygularlar. Bu kuvvet balonu genişletir. Bir gazın oluşturduğu toplam kuvveti ölçmek kolay değildir. Bu toplam kuvvet yerine gaz basıncını değerlendirmek yerinde olacaktır. **Basınç,** birim alana düşen kuvvettir, yani basınç, bir yüzeye uygulanan kuvvetin, o yüzeyin alanına bölünmesiyle bulunan değerdir. Şekil 6-2, bir katı tarafından meydana getirilen basıncın ne olduğunu göstermektedir.

SI birim sisteminde kuvvet birimi *newtondur* (N). Newton bir kuvvet (F) olup, bir newton bir kilogramlık bir kütleye 1 m s^{-2} ivme kazandırır, yani, 1N = 1 kg m s^{-2} dır. Birim yüzeydeki kuvvetin (basıncın) birimi ise N/m^2 dir. Metrekare başına uygulanan bir newton basınç bir **paskal** (Pa) olarak tanımlanır. Buna göre, paskal olarak basınç,

$$P\,(\text{Pa}) = \frac{F\,(\text{N})}{A\,(\text{m}^2)} \qquad \textbf{(6.1)}$$

Gerçekte paskal çok küçük bir basınç birimidir ve bu yüzden çoğu kez **kilopaskal (kPa)** kullanılır. Paskal birimi, basınç ve modern hidrolik biliminin temelini oluşturan basıncın sıvıda iletimi üzerinde çalışmalar yapan Blaise Pascal (1623-1662) onuruna adanmıştır.

◀ Eğer fizik dersi almadıysanız, kuvvet ve işle ilgili özet bilgiler için EK B ye başvurunuz.



▲ ŞEKİL 6-3
Sıvı basıncı kavramı
Bileşik kaplar aynı seviyeye kadar dolar. Bunun sonucu olarak, kapların şekli ve hacmi farklı olmasına karşın, sıvı basınçları aynıdır.

Sıvı Basıncı

Gaz moleküllerinin oluşturduğu toplam kuvvetin ölçülmesinin kolay olmaması nedeniyle, (6.1) denkleminin gazlara uygulanması güçtür. Bir gazın basıncı, sıvı basıncıyla kıyaslanarak *dolaylı yoldan* ölçülür. Şekil 6-3 sıvı basıncı kavramını göstermektedir. Sıvı basıncı sadece sıvı sütunun yüksekliğine ve yoğunluğuna bağlıdır. Bu durumu kanıtlamak üzere, yoğunluğu d olan bir sıvının, kesit alanı A olan bir silindire h yüksekliğine kadar doldurulduğunu düşünelim.

Bu durumda; (1) ağırlık bir kuvvettir ve ağırlık (W) ile kütle (m) orantılıdır: $W = g \times m$. (2) Bir sıvının kütlesi onun hacmi ile yoğunluğunun çarpımıdır: $m = V \times d$. (3) Silindirin hacmi onun yüksekliği ile kesit alanının çarpımıdır: $V = h \times A$. Bu bilgileri (6.2) denklemini türetmek üzere kullanalım.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{W}{A} = \frac{g \times m}{A} = \frac{g \times V \times d}{A} = \frac{g \times h \times A \times d}{A} = g \times h \times d \qquad (6.2)$$

Buna göre *sıvı basıncı*, g nin bir sabit olması dolayısıyla *sıvı yoğunluğu ve sıvı sütununun yüksekliği ile orantılıdır.*

Barometre Basıncı

1643 yılında Evangelista Torricelli nin atmosferin uyguladığı basıncı ölçmek üzere geliştirdiği düzenek Şekil 6-4 de gösterilmiştir. Bu düzeneğe **barometre** denir.

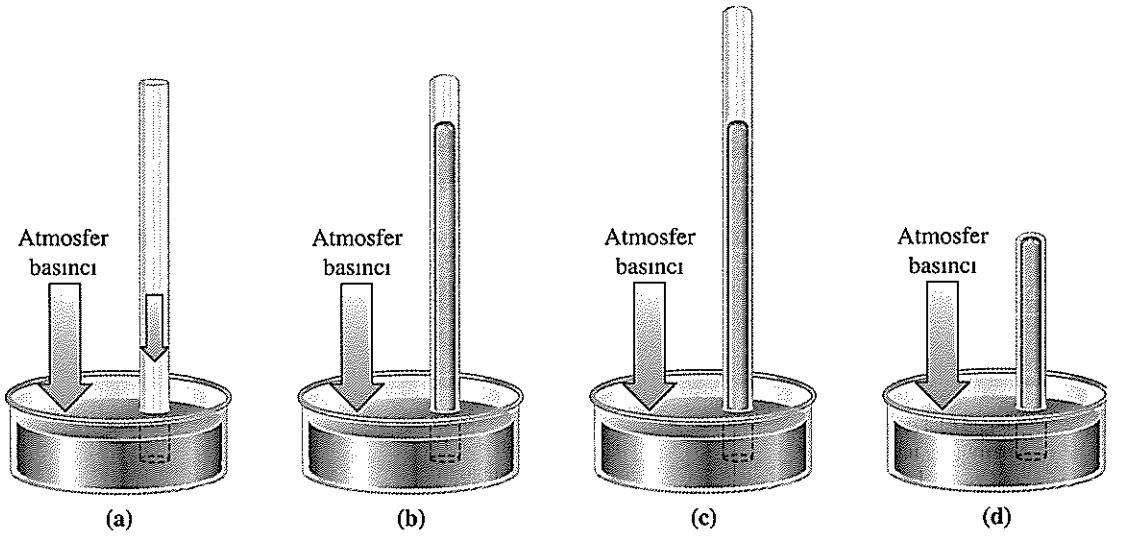
İki ucu açık bir boruyu cıva dolu bir kaba daldırdığımızda (Şekil 6-4a), boru içindeki ve dışındaki cıva seviyesi aynı olur. Şekil 6-4b deki koşulu oluşturmak üzere, uzun bir cam borunun bir ucunu kapatalım ve Hg(s) ile doldurup yine Hg(s) dolu kaba daldıralım. Sonra cıva içinde ucu tekrar açalım. Boru içindeki cıva belirli bir seviyeye kadar düşer ve orada kalır. Borunun içindeki seviyeyi dışındakinden daha yüksekte tutan bir güç vardır. Bazı bilim adamları bu olayı boru *içindeki* kuvvetle açıklarken, Torricelli bu kuvvetin borunun *dışındaki* kuvvet olduğunu anladı.

Açık uçlu boruda (Şekil 6-4a), borunun içinde ve dışındaki cıva yüzeylerinde atmosfer aynı basıncı oluşturur ve sıvı seviyeleri aynıdır. Kapalı uçlu boruda ise (Şekil 6-4b), borudaki cıva üzerinde hava yoktur (sadece eser miktarda cıva buharı vardır). Atmosfer kap içindeki cıva yüzeyinde bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvet sıvı içinden iletilerek, cıva sütununu yükseltir ve belirli bir yerde durmasına neden olur. Bu sütun, yüksekliğe ve Hg(s) yoğunluğuna bağlı olarak, aşağı doğru bir basınç oluşturur. Belirli bir yükseklikteki cıva sütununun dibindeki basınç, atmosfer basıncı ile aynıdır. Bu yüzden sütun yüksekliği korunur.

Bir barometredeki cıva yüksekliğine, **barometre basıncı** adı verilir. Barometre basınçları **milimetre cıva (mm Hg)** adı verilen bir birim ile ifade edilebilir ve cıva yoğunluğu 13,5951 g/cm^3 (0 °C) ve yerçekimi ivmesini $g = 9{,}80665$ m/s^{-2} olduğu durumda tam 1 mm yüksekliğinde bir cıva kolonunun uyguladığı basınç olarak tanımlanabilir. Bu basınç biriminin cıvanın belirli bir yoğunluğu ve yerçekimi ivmesinin belirli değerlerine göre tanımlandığına dikkat ediniz. Bu durum, cıva yoğunluğunun sıcaklıkla değişmesinden ve g nin Dünyadaki konuma bağlı olmasından (sayfa 9 u hatırlayınız) kaynaklanmaktadır. Normal olarak atmosfer tarafından uygulanan basınç, bir cıva kolonunu 760 mm yüksekliğe kadar iter ve bu nedenle normal atmosfer basıncı yaklaşık 760 mm Hg dır. Cıva yoğunluğu $d = 13{,}5951$ g / cm^3 = $1{,}35951 \times 10^{-4}$ kg / m^3 ve $g = 9{,}80665$ m/s^2 olduğunda, tam olarak 760 mm yüksekliğindeki bir kolonda bulunan cıvanın uyguladığı basıncı hesaplamak için (6.2) denklemini kullanalım.

$$P = (9{,}80665 \text{ m s}^{-2})(0{,}760000 \text{ m})(1{,}35951 \text{ kg m}^{-3})$$
$$= 1{,}01325 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

▶ Bu hesaplamada d ve g nin birimlerini kg/m^3 ve m/s^2 yerine, kg m^{-3} ve m s^{-2} şeklinde yazdık: Birim ve türetme ile ilgili işlemlerde, hem bölü (/) hemde negatif üstelini rahatlıkla kullanabilmelisiniz. Örneğin, kg m^{-1} s^{-2} birimi kg / (m s^2) şeklinde de yazılabilir.



▲ ŞEKİL 6-4
Bir civa barometresi ile atmosfer basıncının ölçülmesi
Oklar atmosferin oluşturduğu basıncı göstermektedir. **(a)** Ucu açık borunun içindeki ve dışındaki cıva seviyesi aynıdır. **(b)** Kapalı uçlu boruda, borunun yüksekliği ne olursa olsun, 760 mm yükseklikte bir cıva sütunu oluşur. **(c)** Boru 760 mm den fazla olsa da cıva seviyesi (b) ile aynıdır **(d)**eğer boru 760 mm den kısa ise, kapalı uçlu boru cıva ile dolar. (b) ve (c) deki kapalı uçlu tüplerde, cıva sütununun üzerinde hava yoktur ve sadece eser miktarda civa buharı vardır.

Bu hesaplama sonucu ortaya çıkan birim kg m^{-1} s^{-2}, SI basınç birimidir ve daha önce de bahsedildiği gibi paskal (Pa) olarak adlandırılır. Tam olarak 101 325 Pa ya da 101,325 kPa basınç özel bir öneme sahiptir. Çünkü SI birim sisteminde **bir standart atmosfer (atm)** tam olarak 101 325 Pa ya da 101,325 kPa a eşit olarak tanımlanır. Bazen karşılaşılan diğer bir basınç birimi ise **torr** olarak adlandırılan birimdir ve **Torr** simgesi ile gösterilir. Bu birim Torricelli ye adanmıştır ve standart atmosferin tam 1/760 dır. Aşağıdaki ifade, bu birimler arasındaki bağıntıyı gösterir.

$$1\ \text{atm} = 760\ \text{Torr} \approx 760\ \text{mmHg} \qquad (6.3)$$

Yukarıda gösterildiği gibi, torr birimi ve milimetre cıva tam olarak birbirine eşit değildir. Çünkü 760 Torr *tam* olarak 101 325 Pa'a eşittir; fakat 760 mm Hg yalnızca *yaklaşık* olarak 101 325 Pa'a (bu yaklaşık altı ya da yedi anlamlı rakam için) eşittir. Torr ve mm Hg arasındaki fark çok yüksek doğruluktaki çalışmalar dışında endişelenmek için oldukça küçüktür. Bu nedenle, bu kitapta, basınç birimleri olan Torr ve mmHg yı birbiri yerine kullanacağız.

Cıva az bulunan, pahalı ve zehirli bir sıvıdır. O halde barometrede su yerine cıva niye kullanılmaktadır? Örnek 6-1 den görüleceği gibi, su barometresi için gerekli aşırı yükseklik belirgin bir dezavantajdır. Atmosfer basıncı bir civa barometresi ile 1 m den daha kısa bir boru ile ölçülebilecekken, bu değerin bir su barometresi için üçkatlı bir bina boyunda olması gerekir.

Pipetle bir içecek içilirken, pipet içerisindeki içinize çektiğiniz sıvının üzerindeki basınç düşer. Bu nedenle, pipetin dışındaki atmosfer basıncı sıvıyı ağzınıza doğru iter. Kırsal kesimde çok kullanılan ve el ile çalışan emme-basma su pompaları (tulumba) da aynı ilkeye göre çalışmaktadır. Diğer taraftan, boru içindeki bütün hava giderilse dahi, boru dışındaki atmosfer basıncının suyu ancak 10 m yüksekliğe çıkarabileceği Örnek 6-1 de gösterilmektedir. Bu tür emme pompaları sığ kuyularda kullanılabilir.

ÖRNEK 6-1 Sıvı Basınçlarının Karşılaştırılması

76,0 cm (760 mm) yükseklikte cıva sütununun basıncına eşdeğer basıncı oluşturabilecek su sütununun yüksekliği ne olmalıdır?

Analiz

Eşitlik (6.2) gösteriyor ki, verilen bir sıvı basıncı için, sütun yüksekliği sıvı yoğunluğu ile ters orantılıdır. Daha düşük sıvı yoğunluğu, daha yüksek sıvı sütunudur. Cıva sudan 13,6 kat daha yoğun bir sıvıdır (13,6 g/cm^3 yoğunluğa karşılık 1,00 g/cm^3). Su ve cıva sütunlarının aynı basıncı uygulamaları için, su sütunu civa sütunundan13,6 kat yüksek olmalıdır.

Çözüm

Daha önce sebebini yorumlamış olduğumuz aynı sonuca, (6.2) eşitliğini hem su hemde cıva için uyguladıktan sonra iki basıncı birbirine eşitleyerek de varabiliriz. Eşitlik (6.2) bilinen yükseklikteki cıva sütununun basıncını ve bilinmeyen yükseklikteki su sütununun basıncını ifade etmekte kullanılabilir. Daha sonra iki basıncı birbirine eşitleyebiliriz.

$$\text{Hg sütunu basıncı} = g \times h_{Hg} \times d_{Hg} = g \times 76{,}0\ \text{cm} \times 13{,}6\ \text{g/cm}^3$$

$$H_2O \text{ sütunu basıncı} = g \times h_{H_2O} \times d_{H_2O} = g \times h_{H_2O} \times 1{,}00\ \text{g/cm}^3$$

$$g \times h_{H_2O} \times 1{,}00\ \text{g/cm}^3 = g \times 76{,}0\ \text{cm} \times 13{,}6\ \text{g/cm}^3$$

$$h_{H_2O} = 76{,}0\ \text{cm} \times \frac{13{,}6\ \text{g/cm}^3}{1{,}00\ \text{g/cm}^3} = 1{,}03 \times 10^3\ \text{cm} = 10{,}3\ \text{m}$$

Değerlendirme

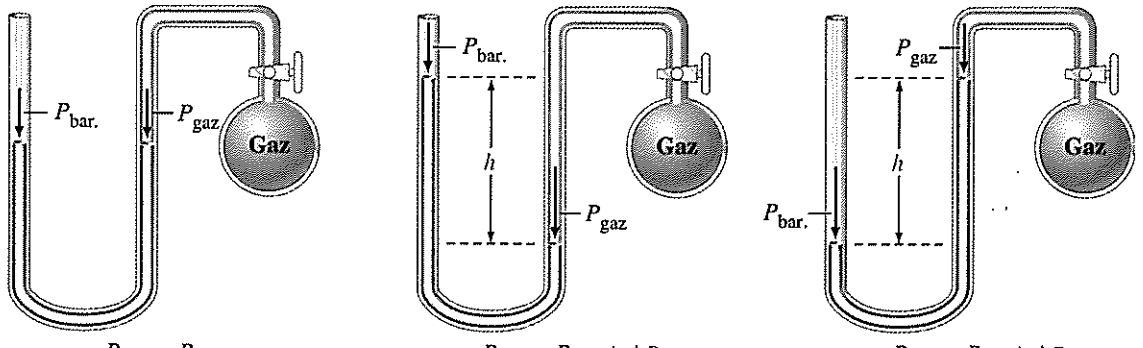
Eşitlik (6.2) yi farklı bir açıdan şöyle yorumlayabiliriz. Belirli bir yükseklikteki sıvı sütununda bulunan sıvı yoğunluğu ne kar fazlaysa, sıvı sütunu tarafından uygulanan basınç da o kadar büyüktür. Buna göre 760 mm yüksekliğindeki bir civa sütunu, 760 mm yüksekliğindeki bir su sütunundan 13,6 kat daha fazla basınç uygulayacaktır.

ALIŞTIRMA A: Bir barometre dietilen glikol (d = 1,118 g/cm^3) ile doldurulmuştur. Sıvı yüksekliği ise 9,25 m olarak bulunmuştur. Bu durumda, milimetre cıva cinsinden barometre (atmosfer) basıncı ne kadardır?

ALIŞTIRMA B: Bir barometre trietilen glikol ile doldurulmuştur. Atmosfer basıncı 757 mm Hg olduğunda sıvı yüksekliği 9,14 m olarak bulunmuştur. Trietilen glikolün yoğunluğu nedir?

6-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir su sifonunun hareketinin emme pompasına nasıl bağlı olduğunu açıklayınız.



(a) Gaz basıncı barometre basıncına eşit.

(b) Gaz basıncı barometre basıncından büyük.

(c) Gaz basıncı barometre basıncından küçük.

▲ ŞEKİL 6-5
Açık uclu manometre ile gaz basıncının ölçülmesi
Barometre basıncı ile ölçülen gaz basıncı arasındaki ilişki, yukarıdaki şekilde gösterilmekte ve Örnek 6-2 de açıklanmaktadır. Eğer P_{gaz} ve P_{bar}, mm Hg şeklinde ifade edilmişse, ΔP sayısal değeri mm cinsinden yüksekliğe eşittir.

ÖRNEK 6-2 Gaz Basıncının Ölçülmesinde Manometrenin Kullanılması

Şekil 6-5c deki manometre sıvı cıva ($d = 13{,}6 g / cm^3$) ile doldurulduğunda barometre basıncı 748,2 mm Hg ve cıva seviyeleri farkı 8,6 mm Hg dır. Gaz basıncı P_{gaz} ne kadardır?

Analiz

Öncelikle barometre basıncının mı yoksa gaz basıncının mı daha büyük olduğunu bulmalıyız. Şekil 6-5(c) de, barometre basıncı cıvayı aşağıya doğru yani gaz numunesine doğru itmektedir. Barometre basıncı gaz basıncından daha büyüktür. Bu nedenle, $\Delta P = P_{gaz} - P_{bar} < 0$.

Çözüm

Gaz basıncı barometre basıncından küçüktür. Bu sebeple, gaz basıncını bulmak için barometre basıncından 8,6 mm Hg çıkarılır.

$$P_{gaz} = P_{bar} + \Delta P = 748{,}2 \text{ mm Hg} 2 8{,}6 \text{ mm Hg} = 739{,}6 \text{ mm Hg}$$

Değerlendirme

Bütün basınç değerleri milimetre cıva cinsinden ifade edildiğinden, basınç farkı (ΔP) sayısal olarak cıva seviyelerindeki farklılığa eşittir. Bu nedenle, cıvanın yoğunluğu hesaplamalara girmemiştir.

ALIŞTIRMA A: Örnek 6-2 deki civa seviyesinin atmosfere açık kolda, kapalı olandan 7,8 mm daha yüksek olduğunu düşünelim. Bu durumda P_{gaz} değeri ne olacaktır?

ALIŞTIRMA B: P_{bar} ve P_{gaz} ın Örnek 6-2 de olduğu gibi tanımlandığını, fakat manometrenin cıva yerine sıvı gliserin ($d = 1{,}26 g / cm^3$) ile doldurulduğunu düşünelim. Sıvının iki seviyesi arasındaki fark ne kadardır?

Derin bir kuyudan su çekmek için mekanik bir pompaya ihtiyaç vardır. Mekanik pompanın suyu yukarı itme kuvveti, atmosferin suyu aşağı itme kuvvetinden daha fazladır.

Manometreler

Cıva barometreleri atmosfer basıncını ölçmek için kaçınılmaz olmalarına karşın, diğer gazların basıncını ölçmede nadiren tek başına kullanılır. Burada basıncı ölçülmek istenen gazın bulunduğu kaba barometreyi yerleştirme güçlüğü söz konusudur. Ancak, gaz basıncı ile barometre basıncını bir **manometre** yardımıyla kıyaslayabiliriz. Şekil 6-5 açık uçlu bir manometrenin temel prensibini göstermektedir. Ölçülecek gazın basıncı ve geçerli olan atmosfer (barometre) basıncı eşit olduğu sürece, manometrenin iki kolundaki cıva sütunu yüksekliği eşittir. İki koldaki yükseklik farkı, gaz basıncı ve barometre basıncı arasındaki farkı belirtir.

Basınç Birimleri: Özet

Çizelge 6-1 de farklı basınç birimleri gösterilmektedir. SI sisteminin parçası olmasalar da, kırmızı ile gösterilen birimler kimyacılar tarafından sıklıkla kullanılırlar. Atmosfer kullanışlı bir birimdir; çünkü gazların hacimleri genellikle atmosfer basınçlarında ölçülür. Normal atmosfer basıncı 1 atm ya da 760 Torr a yakındır. Mavi ile gösterilen birimler SI sistemde tercih edilenlerdir.

Çizelge 6.1 de siyah ile gösterilen birimler **bar** birimine dayanmaktadır. Bir bar bir kilopaskalın 100 katı kadardır. Atmosfer basıncı genellikle 1 bara yakındır. *Milibar* birimi genellikle meteorolojide kullanılır.

Genel olarak Çizelge 6-1 de gösterilen birimleri serbestçe seçilebilmemize karşın, gazlarla ilgili hesaplamalarda bazen SI birimlerini kullanmak zorunlu olur. Bu durum Örnek 6-3 de gösterilmiştir.

ÇİZELGE 6.1 Bazı Yaygın Basınç Birimleri

Atmosfer	atm	
Milimetre civa (mmHg)	mmHg	1 atm ≃ 760 mmHg
Torr	Torr	= 760 Torr
Paskal	Pa	= 101325 Pa
Kilopaskal	kPa	= 101,325 kPa
Bar	bar	= 1,01325 bar
Millibar	mbar	= 1013,25 mbar

ÖRNEK 6-3 SI Basınç Biriminin Kullanılması

Şekil 6-2 de gösterilen 1,000 kg lık kırmızı silindir, 4,10 cm çapındadır. Bu silindirin yüzeyde oluşturduğu basıncı Torr cinsinden hesaplayınız?

Analiz

Eşitlik (6.2) yi uygulamamız gerekir. En iyisi SI birimlerini kullanmak ve basıncı SI birimi (Pa) biçiminde elde etmek ve daha sonra istenen birime (Torr) dönüştürmektir.

Çözüm

(6.1) ifadesi basıncı, kuvvetin alana bölümü olarak tanımlar.

$$P = \frac{F}{A}$$

Silindir tarafından uygulana kuvvet kendisinin ağırlığıdır.

$$F = W = m \times g$$

Kütle 1,000 kg ve yerçekimi ivmesi(g) nin değeri ise 9,81 m s^{-2} dir. Bu iki terimin çarpımı ise newton olarak kuvvettir.

$$F = m \times g = 1{,}000\,\text{kg} \times 9{,}81\,\text{m s}^{-2} = 9{,}81\,\text{N}$$

Kuvvet altta kalan yüzey ve silindir arasındaki temas alanına uygulanır. Bu çevresel alan silindirin yarıçapı (4,10 cm çapın metre cinsinden yarısı) kullanılarak hesaplanır.

$$A = \pi r^2 = 3{,}1416 \times \left(2{,}05\,\text{cm} \times \frac{1\,\text{m}}{100\,\text{cm}}\right)^2 = 1{,}32 \times 10^{-3}\,\text{m}^2$$

Bu kuvveti alana (metre kare) bölersek, basıncı paskal olarak elde ederiz.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{9{,}81\,\text{N}}{1{,}32 \times 10^{-3}\,\text{m}^2} = 7{,}43 \times 10^3\,\text{Pa}$$

Son dönüşüm için Çizelge 6.1 den Torr ve paskal birimleri arasındaki ilişkiyi kullanırız.

$$P = 7{,}43 \times 10^3\,\text{Pa} \times \frac{760\,\text{Torr}}{101{,}325\,\text{Pa}} = 55{,}7\,\text{Torr}$$

Değerlendirme

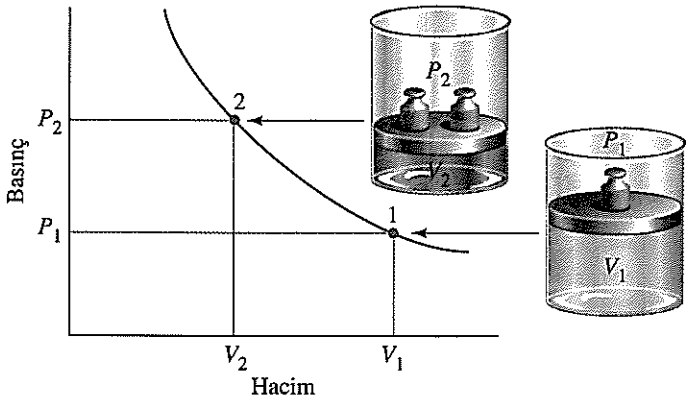
İlk bakışta, bu basıncın akla yakın olup olmadığını söylemek güçtür. Sonucumuzu kontrol etmek için, bu çelik silindir yerine 55,7 mm yüksekliğinde ve 4,10 cm çapında bir cıva silindir sütununa odaklanalım. Bu cıva sütunu da 55,7 mm Hg = 55,7 Torr luk bir basınç uygular. Bu sütun içindeki cıvanın hacmi $V = \pi r^2 h = \pi \times (2{,}05\,\text{cm})^2 \times 5{,}57\,\text{cm} = 73{,}5\,\text{cm}^3$. Cıvanın yoğunluğu yaklaşık 13,6 g/cm^3 (sayfa 194), ve bu nedenle cıva sütununun kütlesi 73,5 cm^3 × 13,6 g/cm^3 = 1,00 × 10^3 g = 1,00 kg. Bu tam da çelik silindirin kütlesidir.

ALIŞTIRMA A: Şekil 6-2 deki 1,000 kg lık yeşil silindirin çapı 2,60 cm dir. Bu silindir altındaki yüzeye kaç Torr luk bir basınç oluşturur?

ALIŞTIRMA B: Şekil 6-2 deki 1,000 kg lık kırmızı silindirin oluşturduğu basıncı, üzerine ek bir ağırlık koyarak 100,0 mb a çıkarmak istiyoruz. Bu ağırlığın kütlesi ne olmalıdır? Bu ek ağırlığın kesit yüzey alanı silindirinki ile aynı mı olmalıdır? Açıklayınız.

6-2 Basit Gaz Yasaları

Bu kesimde basınç, hacim, sıcaklık ve gaz miktarı arasındaki ilişkileri inceleyeceğiz. Özellikle, değişkenlerden ikisi sabitken, bir değişkenin diğerine nasıl bağlı olduğunu göreceğiz. Bu ilişkilerin hepsine birden basit gaz yasaları adı verilir. Soru çözümünde bu yasalardan yararlanabilirsiniz. Ancak muhtemel olarak gelecek kesimde geliştirilecek olan ideal gaz



◀ ŞEKİL 6-6
Gaz hacmi ve basıncı arasındaki ilişki—Boyle Yasası
Gaz miktarı ve sıcaklığı sabit tutulduğunda, gaz hacmi basınç ile ters orantılıdır. Basıncı iki katına çıkarmak, hacmin yarıya inmesine neden olur.

denklemini tercih edeceksiniz. Basit gaz yasalarını en çok gazların nitel (kalitatif) davranışlarını anlamakta kullanacağız.

Boyle Yasası

1662 de Robert Boyle basit gaz yasalarının ilkini hava ile yaptığı çalışma ile buldu. Bu yasa bu gün **Boyle yasası** olarak bilinmektedir.

Sabit sıcaklıkta, sabit miktardaki bir gazın hacmi, basıncı ile ters orantılıdır. **(6.4)**

Şekil 6-6 daki gazı gözönüne alalım: Bu gaz bir silindir içinde "ağırlığı olmayan" serbestçe hareket edebilen bir piston ile kapatılmış olsun. Gaz basıncı piston üzerindeki toplam ağırlığa bağlıdır. Bu ağırlık (kuvvet) pistonun yüzeyine bölünürse gazın basıncı bulunur. Piston üzerindeki ağırlık iki katına çıkarılırsa, basınç da iki katına çıkar ve gaz hacmi ilk hacminin yarısına düşer. Gazın basıncı üç katına çıkarılırsa, hacim üçte bire düşer. Öte yandan, eğer basınç yarıya düşürülürse hacim iki katına çıkar. Matematiksel olarak basınç ve hacim arasındaki bu ters ilişki aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$P \propto \frac{1}{V} \quad \text{ya da} \quad PV = a \text{ (sabit)} \qquad \textbf{(6.5)}$$

Orantı işareti ($\propto$) yerine "eşitlik" işaretini ve orantı sabitini koyduğumuzda, sabit bir sıcaklık ve miktardaki gazın basınç ve hacim çarpımının bir sabit değer (a) olduğunu görürüz. Bu a değeri gazın miktarı ve sıcaklığına bağlıdır. Şekil 6-6 daki grafik $PV = a$ bağıntısını göstermektedir. Bu bir hiperbol olarak adlandırılır.

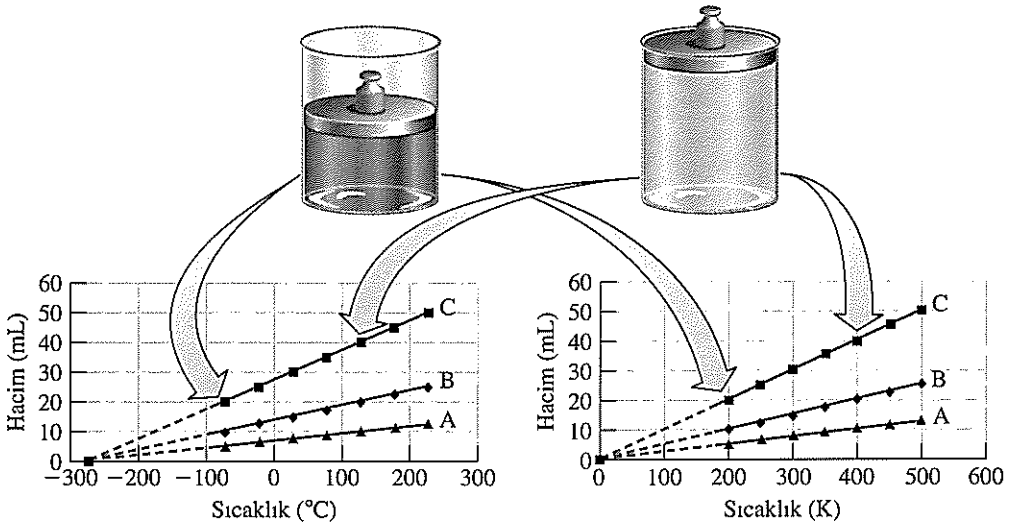
$PV = a$ eşitliği, sabit sıcaklıkta gazda meydana gelen bir değişikliği hesaplamada işe yarayan yeni bir eşitliği türetmekte kullanılabilir. Başlangıç durumu (i) ve son durum (s) için eşitlik (6.5) i yazarsak, $P_iV_i = a$ ve $P_sV_s = a$ elde ederiz. Her iki PV çarpımı aynı a değerine eşit olduğundan, aşağıdaki eşitliği yazabiliriz.

$$P_iV_i = P_sV_s \qquad (n \text{ sabit}, T \text{ sabit})$$

Yukarıdaki eşitlik genellikle basınç ve hacim değişimlerini ilişkilendirmek için kullanılır.

6-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

50,0 L lik bir silindir 21,5 atm de azot gazı içermektedir. Silindirin içeriği hacmi bilinmeyen boş bir tanka boşaltılır. Eğer tanktaki son basınç 1,55 atm ise, bu durumda tankın hacmi ne kadardır? **(a)** (21,5/1,55) × 50,0 L; **(b)** (1,55/21,5) × 50,0 L; **(c)** 21,5 / (1,55 × 50,0) L; **(d)** 1,55 / (21,5 × 50,0) L.



▲ ŞEKİL 6-7
Gaz hacminin sıcaklıkla değişimi
Hacim sıcaklığa karşı iki farklı ölçekte (Celcius ve Kelvin) grafiğe geçirilmiştir. Üç farklı gazın hacimleri (A, B ve C), 1 atm ve 500 K de ölçülmüştür. Sıcaklık düşürüldükçe, Charles yasasında öngörüldüğü gibi, hacim azalmaktadır. Örneğin 250 K (−23 °C), C gazının hacmi 50 mL den 25 mL ye düşmektedir. Hacim ve sıcaklık arasındaki ilişki hem Celcius hem de Kelvin sıcaklık ölçeğinde doğrusal olmasına karşın, hacim sadece mutlak sıcaklık ile doğru orantılıdır. Bu nedenle, hacim sıfır derecede sıfır olmalıdır. Sadece Kelvin ölçeği bu değeri sağlar.

▶ Mutlak sıfırın, herhangi bir gazın sıcaklığa (T) karşı hacim, V (veya P) grafiğinin −273 °C deki uzantısından 'keşfedildiğini' söylemek doğru olacaktır.

Charles Yasası

Gazların hacmi ve sıcaklığı arasındaki bağıntı Fransız fizikçi Jacques Charles tarafından 1787 de keşfedilmiş ve bundan bağımsız olarak da 1802 de Jaseph Gay-Lussac tarafından yayınlanmıştır.

Şekil 6-7, bir silindir içinde belirli bir miktardaki gazı göstermektedir. Sıcaklık değiştirilirken basınç 1 atm de sabit tutulur. Gazın hacmi ise sıcaklık yükseltilirken yükselir ya da sıcaklık düşürülürken azalır. Yani, hacim sıcaklıkla doğru orantılıdır. Şekil 6-7, üç farklı başlangıç koşulundaki, üç gaz için hacmin sıcaklıkla doğrusal değişimini göstermektedir. Şekil 6-7 deki doğrularda ortak nokta ise, sıcaklık eksenini aynı noktada kesmeleridir. Gaz hacimleri diğer bütün sıcaklıklarda farklı olmasına karşın, hep aynı sıcaklıkta sıfır noktasına ulaşırlar. Kuramsal bir gazın hacminin sıfır olduğu sıcaklığa mutlak sıfır sıcaklığı denir.* Bu sıcaklık Celsius ölçeğinde −273,15 °C, **mutlak sıcaklık** ölçeğinde veya **Kelvin** ölçeğinde 0 K dir. Kelvin sıcaklığı, T, ve Celsius sıcaklığı, t arasındaki ilişki aşağıda (6.6) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$T(\text{K}) = t(\text{°C}) + 273{,}15 \qquad (6.6)$$

▶ °C ölçeğini K ölçeğine dönüştürürken, toplama veya çıkarma işlemlerindeki anlamlı rakamlar kuralını uygulayınız. İki anlamlı rakamı olan 25 °C değeri 273,15 e eklenirse, üç anlamlı rakam,298 K olur. Benzer olarak, 25,0 °C değeri 273,15 kelvine eklenirse, 298,15 olur ve bu da 298,2 değerine yuvarlanır (25,0 + 273,15 = 298,15, değeri de 298,2 ye yuvarlanır).

Şekil 6-7 nin sağ tarafındaki grafik, 0 K de hacim sıfır olduğuna göre, gaz hacminin sıcaklıkla doğru orantılı olduğunu gösterir. Aşağıda verilen **Charles yasası** ifadesi(6.7) hacim ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi özetlemektedir.

▶ Charles'in, gazların hacmi üzerine sıcaklığın etkisi hakkındaki fikirleri, 18. yüzyılın sonlarına doğru popüler bir çılgınlık halini alan, sıcak hava balonlarına olan tukusunun etkisiyle olabilir.

Sabit basınçtaki, belirli miktar bir gazın hacmi Kelvin(mutlak) sıcaklığı ile doğrudan orantılıdır. **(6.7)**

*Bütün gazlar mutlak sıfıra ulaşmadan önce sıvılaşırlar ya da katılaşırlar. Bir gazın hacminden söz ederken, moleküllerin kendi hacimları değil, gaz molekülleri arasındaki serbest hacim kastedilir. Burada sözü edilen gaz *kuramsal*dır. Bu gaz, moleküllerinin kütlesi olan ancak hacmi olmayan, sıvı ya da katı hale geçmeyen bir gazdır.

Matematiksel olarak Charles yasası,

$$V \propto T \quad \text{ya da} \quad V = bT \ (b \text{ sabit}) \tag{6.8}$$

b sabitinin değeri gaz miktarına ve gaz basıncına bağlıdır, cinsine bağlı *değildir*.

(6.7) ya da (6.8) bağıntılarından, bir gazın Kelvin sıcaklığı iki katına çıktığında, hacminin da iki katına çıkacağını görebiliriz. Kelvin sıcaklığını yarıya düşürmekle (Örneğin 300 den 150 K e) hacmini de yarıya düşürürüz.

Eşitlik (6.8), sabit basınçta gaz değişimleri için kullanışlı başka bir eşitliğin türetilmesinde kullanılabilir. Başlangıç durumu (i) ve son durum (s) için eşitlik (6.8) iki kez yazılırsa, $V_i / T_i = b$ ve $V_s / T_s = b$ elde edilir. Her iki (V/T) oranı aynı b değerine eşit olduğundan, buradan aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{V_i}{T_i} = \frac{V_s}{T_s} \quad (n \text{ sabit}, P \text{ sabit})$$

Yukarıdaki eşitlik çoğunlukla hacim ve sıcaklık değişimlerini ilişkilendirmek için kullanılır.



▲ Charles deneylerini, buradakine benzer hidrojenle doldurulmuş ancak daha küçük bir balonla yaptı. Balona asılan taşıma sepeti ve gazın salıverilmesini sağlayan vanalarda dahil olmak üzere, modern balonların bir çok temel özelliklerini keşfetti.

6-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Sıcaklığı 24 °C de sabit tutulan bir odada, bir balon hava ile 2,50 L ye şişiriliyor. Sonra, çok soğuk bir kış gününde dışarıya çıkarılıyor. Dışarıdaki sıcaklık −25 °C ise, balonun hacmi ne olacaktır? Balon içinde ve dışında basınçların sabit kaldığını varsayınız. **(a)** (248/297) × 2,50 L; **(b)** (297/248) × 2,50 L; **(c)** 248/(297 × 2,50) L; **(d)** 297/(248 × 2,50) L.

6-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir gazın sıcaklığı 100 K den 200 K e çıkarılırsa, gaz hacmi ikiye katlanır. Bir gazın sıcaklığı 100 °C den 200 °C ye çıkarılırsa gaz hacmi yine ikiye katlanır mı? Açıklayınız.

Standart (Normal) Basınç ve Sıcaklık

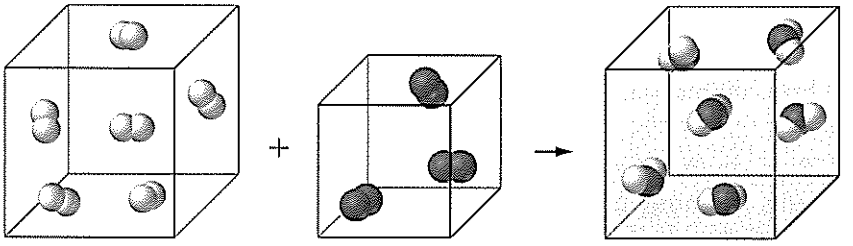
Gazların özellikleri sıcaklık ve basınca bağlı olduğundan, farklı gazların karşılaştırılmasında kullanılmak üzere, sıcaklık ve basınç için standart (normal) koşullar tanımlamamız gerekir. Gazlar için standart sıcaklık 0 °C = 273,15 K ve standart basınç 1 bar = 100 kPa = 10^5 Pa alınır. **Standart sıcaklık ve basınç** genellikle **STP** şeklinde kısaltılır. Bununla birlikte, STP geçmişte farklı tanımlanmış olup, bazı kitaplar ve bazı kimyacılar hala bu eski tanımı kullanmaktadır. Eski tanımda standart basınç 1 atm olarak kabul edilmiştir. Biz bu kitapta IUPAC tarafından önerilen tanımı kullanacağız:

◀ IUPAC standart koşullarda gaz yasası ve termodinamik veriler için *atmosfer* yerine bir *bar* ı önermekteyse de, atmosfer kullanılmaya devam edilmektedir.

Standart Sıcaklık ve Basınç (STP):	0 °C ve 1 bar = 10^5 Pa

Avogadro Yasası

1808 de Gay-Lussac gazların basit tamsayılarla ifade edilen hacim oranlarıyla tepkimeye girdiklerini ileri sürdü. Bunun açıklaması, aynı sıcaklık ve basınçta eşit hacimdeki gazlar eşit sayıda atomlar içerir. Dalton ise bu görüşe şöyle karşı çıktı: eğer Guy-Lussac'ın önerisi doğru olsaydı, hidro-



▲ ŞEKİL 6-8
Suyun oluşumu —gerçek gözlem ve Avogadro varsayımı. $2H_2(g) + 1O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$ tepkimesinde H_2 moleküllerinin yarısı kadar O_2 gereklidir. Eşit hacimdeki gazların eşit sayıda molekül içerdiğini kabul edersek, O_2 hacmi H_2 hacminın yarısı olacaktır. Hacimce birleşme oranı 2 : 1 : 2 dir.

jen ve oksijenin su oluşturma tepkimesi $H(g) + O(g) \longrightarrow HO(g)$ 1:1:1 oranında olmalıydı, gözlendiği gibi 2:1:2 değil.

▶ Avogadro hipotezi ve ondan türeyen ifadeleri gazlar için geçerlidir. Sıvı veya katı için benzer bir ilişki yoktur.

1811 de Amedeo Avogadro bu ikilemi, sadece "eşit hacimler – eşit sayılar" hipotezini ile değil bir gaz molekülünün tepkimeye girdiğinde yarım moleküllere de bölünebileceğini önererek sona erdirdi. Günümüzdeki söylenişiyle, O_2 molekülünün atomlarına bölüneceği ve sonra da H_2 molekülü ile birleşerek H_2O molekülünü oluşturacağı söylenebilir. Buna göre, belli hacimdeki hidrojen ile tepkimeye girecek olan oksijenin hacmi, hidrojenin yarısıdır. Avogadro'nun yaklaşımı Şekil 6-8 de açıklanmıştır.

Avogadro'nun "eşit hacim–eşit sayı" hipotezi iki farklı biçimde ifade edilebilir:

1. Aynı sıcaklık ve basınçta farklı gazların eşit hacimleri eşit sayıda molekül içerirler.

2. Aynı sıcaklık ve basınçta, farklı gazların eşit sayıdaki molekülleri eşit hacim kaplarlar.



▲ **Amedeo Avogadro (1776–1856)—zamanının önde gelen bilim adamıydı.** Avogadro varsayımı ve onun yansımaları arkadaşları tarafından yeterince anlaşılamamış, fakat yaklaşık elli yıl sonra Stanislao Cannizzaro (1826-1910) tarafından doğrulanmıştır.

Avogadro hipotezindeki ilişkiden; **Avogadro yasası** şöyle ifade edilir:

Sabit sıcaklık ve basınçta, bir gazın hacmi miktarı ile doğru orantılıdır. **(6.9)**

Eğer gazın mol sayısı (n) iki katına çıkarılırsa, hacim de iki katına çıkar. Bunun matematiksel ifadesi şöyledir:

$$V \propto n \quad \text{ve} \quad V = c \times n$$

c sabiti = V/n olup, bir gazın mol başına hacmini ifade eder ve molar hacim olarak adlandırılır. Gazların molar hacimleri sıcaklık ve basınçla değişir; fakat verilen bir T ve P de bütün gazların molar hacimleri yaklaşık eşittir. (Gazların molar hacimlerinin neden tam eşit olmadıklarını Kesim 6-9 da tartışacağız.) Çizelge 6.2 de bir gazın molar hacminin 0 °C ve 1 atm de 22,414 L ve STP de 22,711 L olduğu görülmektedir. Bu gözlemler aşağıdaki ifade ile özetlenebilir:

▶ Genelde, gaz miktarı ile hacim bağıntısı en iyi ideal gaz eşitliği ile yapılır (Kesim 6-3).

$$1 \text{ mol gaz} = 22{,}414 \text{ L (0 °C, 1 atm de)} = 22{,}711 \text{ L (STP de)} \quad \textbf{(6.10)}$$

22,414 L gazı gözünüzde canlandırmak için Şekil 6-9 size bir fikir verebilir.

ÇİZELGE 6.2 Çeşitli Gazların Yoğunlukları ve Molar Hacimleri

Gaz	Mol Kütlesi g mol^{-1}	Yoğunluk (STP de), g L^{-1}	Molar Hacim [a]L mol^{-1} (STP de)	(0°C, 1 atm de)
H_2	2,01588	$8,87104 \times 10^{-2}$	22,724	22,427
He	4,00260	0,17615	22,722	22,425
İdeal gaz	–	–	22,711	22,414
N_2	28,0134	1,23404	22,701	22,404
CO	28,0101	1,23375	22,696	22,399
O_2	31,9988	1,41034	22,689	22,392
CH_4	16,0425	0,70808	22,656	22,360
NF_3	71,0019	3,14234	22,595	22,300
CO_2	44,0095	1,95096	22,558	22,263
N_2O	44,0128	1,95201	22,550	22,255
C_2H_6	30,0690	1,33740	22,483	22,189
NH_3	17,0352	0,76139	22,374	22,081
SF_6	146,0554	6,52800	22,374	22,081
C_3H_8	44,0956	1,98318	22,235	21,944
SO_2	64,064	2,89190	22,153	21,863

Kaynak: Yoğunluklar "the National Institute of Standards and Technology (NIST) *Chemistry WebBook*, http://webbook.nist.gov/chemistry/." den alınmıştır.

[a]Molar hacim, mol kütlesinin yoğunluğa bölümüne eşittir. 0 °C ve 1 atm de molar hacim, STP deki molar hacmin 1,01325 e bölünmesiyle elde edilir.

6-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

20,0 g O_2 gazı, 0 °C ve 1 atm deki 40,0 g O_2 gazına ilave ediliyor ve sıcaklık 30 °C ye basınç ise 825 Torr a değiştiriliyor. *Gerçek bir hesaplama yapmadan,* aşağıdaki ifadelerden hangisinin bu gazı son hacmine eşit olduğunu bulunuz.

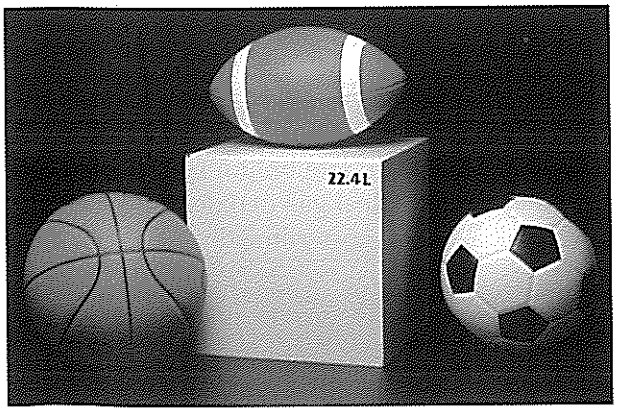
(a) $\left(\frac{40,0}{20,0} \times \frac{1}{32,00} \times 22,4 \times \frac{760}{825} \times \frac{303}{273}\right)$ L

(b) $\left(\frac{20,0}{40,0} \times \frac{1}{32,00} \times 22,4 \times \frac{825}{760} \times \frac{273}{303}\right)$ L

(c) $\left(60,0 \times \frac{1}{32,00} \times 22,4 \times \frac{825}{760} \times \frac{303}{273}\right)$ L

(d) $\left(\frac{3}{2} \times 40,0 \times \frac{1}{32,00} \times 22,4 \times \frac{760}{825} \times \frac{303}{273}\right)$ L

(e) $\left(\frac{2}{3} \times 60,0 \times \frac{1}{32,00} \times 22,4 \times \frac{760}{825} \times \frac{303}{273}\right)$ L



◀ ŞEKİL 6-9
Bir gazın molar hacminin gösterimi
Tahta kübün kenarı 28,2 cm dir ve yaklaşık olarak 1 atm ve 0 °C de bir mol gazla aynı hacme, yani 22,414 L hacme sahiptir. Buna karşılık bir basketbol topu 7,5 L, Amerikan futbol topu 6,0 L ve futbol topu 4,4 L lik bir hacim kaplar.

▶ İdeal gaz denklemi sınavlarda verilmeyebilir ve ezberlemek gerekir. Burada verilen R değeri sınavda verilebilir. Gerçekte tek bir R değeri varsa da birçok özellikler ve diğer sabitler gibi, değişik birimlerde ifade edilebilir.

6-3 Gaz Yasalarının Birleştirilmesi: İdeal Gaz Denklemi ve Genel Gaz Denklemi

Basit gaz yasalarının her üçü de, iki değişken sabitken üçüncü değişkenin hacim üzerine etkisini anlatır.

1. Boyle yasası, basıncın etkisini tanımlar, $V \propto 1/P$.
2. Charles yasası, sıcaklığın etkisini tanımlar, $V \propto 1/T$.
3. Avagadro yasası, gaz miktarının etkisini tanımlar, $V \propto n$.

Bu üç yasayı, hacim, basınç, sıcaklık ve gaz miktarını yani dört gaz değişkenini içeren tek bir denklemde, **ideal gaz denkleminde** birleştirebiliriz.

İdeal Gaz Denklemi

Üç basit gaz yasasına göre, bir gazın hacmi ve miktarı ve sıcaklık ile *doğru orantılı*, basınç ile *ters orantılıdır*. Yani,

$$V \propto \frac{nT}{P} \qquad \text{ve} \qquad V = \frac{RnT}{P}$$

$$PV = nRT \tag{6.11}$$

İdeal gaz denklemine uyan bir gaza **ideal gaz** ya da **mükemmel gaz** denir. (6.11) eşitliğini uygulamadan önce, **gaz sabiti** diye adlandırılan **R** sabitinin değerini belirlemek gerekir. Bunu belirlemenin en kolay yolu, STP de bir gazın molar hacmini (6.11) eşitliğinde yerine koymaktır. Diğer taraftan, R nin değeri basınç ve hacmi tanımlamak için kullandığımız birimlere bağlı olacaktır. Mol hacminin 22,4140 L ve basıncın atmosfer biriminde olduğu durumda

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1\text{ atm} \times 22{,}4140\text{ L}}{1\text{ mol} \times 273{,}15\text{ K}} = 0{,}082057\text{ atm L mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

elde edilir. Eğer, SI sisteminde hacim birimi olarak m^3 ve basınç birimi olarak Pa kullanılırsa,

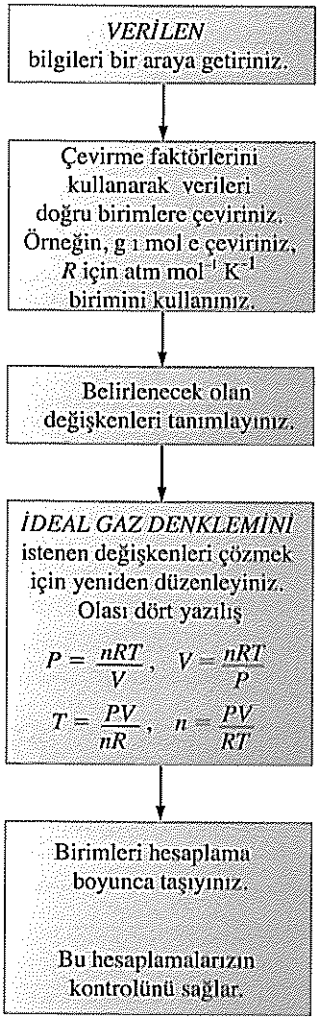
$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{101325\text{ Pa} \times 2{,}24140 \times 10^{-2}\text{ m}^3}{1\text{ mol} \times 273{,}15\text{ K}} = 8{,}3145\text{ Pa m}^3\text{ mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

elde edilir. Pa m^3 mol^{-1} K^{-1} biriminin başka bir anlamı daha vardır. Paskal = kg $m^{-1}s^{-2}$ biriminde olduğuna göre, m^3 Pa = kg m^2 s^{-2} yani SI sisteminde enerji birimi olarak joule birimine dönüşür. Böylece, R nin değeri

$$R = 8{,}3145\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

Bu değeri gazın genleşmesi ve sıkıştırılması ile ilgili enerji hesaplamalarında kullanacağız.

Gaz sabitinin en sık kullanılan değerleri, Çizelge 6.3 de verilmiştir. Bu değerlerin her birini, metin içi alıştırmalarda ve bölüm sonundaki ilgili sorularda kullanma şansını bulacaksınız. İdeal gaz denkleminin kullanılmasıyla ilgili genel strateji yandaki şemada gösterilmiştir.



▲ İdeal gaz denkleminin kullanılması

ÇİZELGE 6.3 R nin Çok Kullanılan Beş Değeri

0,082057 atm L mol^{-1} K^{-1}
0,083145 bar L K^{-1} mol^{-1}
8,3145 kPa L K^{-1} mol^{-1}
8,3145 Pa m^3 mol^{-1} K^{-1}
8,3145 J mol^{-1} K^{-1}

Genel Gaz Denklemi

İdeal gaz denklemi Örnek 6-4 ve 6-5 de tek bir koşul için (P,V,n ve T) uygulanmıştır. Bazı durumlarda gaz iki farklı koşulda tanımlanır. Bu

ÖRNEK 6-4 Gaz Hacminin İdeal Gaz Denklemi ile Hesaplanması

745 mm Hg da ve 45 °C de 13,7 g $Cl_2(g)$ gazının kapladığı hacim ne kadardır?

Analiz

Bu, ideal gaz denkeminin oldukça basit bir uygulamasıdır. Bize belirli bir miktar gaz (gram olarak), basınç (mmHg olarak) ve sıcaklık (°C olarak) verilmektedir. İdeal gaz denklemini kullanmadan önce miktarı mol'e, basıncı atm'e ve sıcaklığı Kelvin e çevirmeliyiz. Bulduğunuz sonucun mantıklı bir birime sahip olduğundan emin olmanız için, hesaplamalarınız boyunca birimleri yazınız.

Çözüm

$$P = 745\,\text{mmHg} \times \frac{1\,\text{atm}}{760\,\text{mmHg}} = 0{,}980\,\text{atm}$$

$V = ?$

$$n = 13{,}7\,\text{g}\,Cl_2 \times \frac{1\,\text{mol}\,Cl_2}{70.91\,\text{g}\,Cl_2} = 0{,}193\,\text{mol}\,Cl_2$$

$$R = 0{,}08206\,\text{atm L mol}^{-1}\,\text{K}^{-1}$$

$$T = 45\,^\circ\text{C} + 273 = 318\,\text{K}$$

V değerini elde etmek için ideal gaz denkleminin her iki tarafı P ye bölünür.

$$\frac{PV}{P} = \frac{nRT}{P} \quad \text{ve} \quad V = \frac{nRT}{P}$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{0{,}193\,\text{mol} \times 0{,}08206\,\text{atm L mol}^{-1}\,\text{K}^{-1} \times 318\,\text{K}}{0{,}980\,\text{atm}} = 5{,}14\,\text{L}$$

Değerlendirme

Hesaplanan sonucun kontrolü, birimlerin birbirini götürmesi ile yapılır. Yukarıdaki işlemde hacim birimi olan L hariç, bütün birimler birbirini götürür. Birbirini götüren birimlerden, örneğin mol^{-1} ile 1/mol ün aynı olduğunu unutmayalım. Buna göre, mol $\times$ mol^{-1} = 1 ve K $\times$ K^{-1} = 1 dir.

ALIŞTIRMA A: −25 °C ve 752 mmHg daki 20,2 g $NH_3(g)$ ün kapladığı hacim ne kadardır?

ALIŞTIRMA B: 7,50 L kaptaki 13,7 g Cl_2 örneği hangi sıcaklıkta 745 mm Hg basınç oluşturur?

ÖRNEK 6-5 Gaz Basıncının İdeal Gaz Denklemi Yardımıyla Hesaplanması

175 °C de 350 mL lik bir kap içinde bulunan $1{,}00 \times 10^{20}$ molekül N_2 gazının oluşturduğu basınç (kilopaskal) ne kadardır?

Analiz

Bize gazın miktarı(molekül), hacmi (mL) ve sıcaklığı (°C) verilmektedir. İdeal gaz deklemini kullanmadan önce miktarı mol, hacmi litre ve sıcaklığı Kelvin e çevirmeliyiz. Bulduğunuz sonucun mantıklı bir birime sahip olduğundan emin olmanız için, hesaplamalarınız boyunca birimleri yazınız.

Çözüm

Basıncı kilopaskal cinsinden bulacağımızdan, ideal gaz denklemindeki R birimini doğru seçmeliyiz.

$$R = 8{,}3145\,\text{Pa m}^3\,\text{mol}^{-1}\,\text{K}^{-1}$$

İlk basamak molekül sayısının mole çevrilmesidir.

$$n = 1{,}00 \times 10^{20}\,\text{molekül}\,N_2 \times \frac{1\,\text{mol}\,N_2}{6{,}02 \times 10^{23}\,\text{molekül}\,N_2}$$

$$= 0{,}000166\ \text{mol}\,N_2$$

(devam ediyor)

Mililitreyi litreye, sonra da metre küpe çeviriniz (Şekil 1-9 u hatırlatınız)

$$V = 305\,\text{mL} \times \frac{1\,\text{L}}{1000\,\text{mL}} \times \frac{1\,\text{m}^3}{1000\,\text{L}} = 3{,}05 \times 10^{-4}\,\text{m}^3$$

Gaz sıcaklığını Kelvin ölçeğinde ifade ediniz T= 175 °C + 273 = 448 K

$$T = 175°\text{C} + 273 = 448\,\text{K}$$

İdeal gaz denklemini $P = nRT/V$ olarak yeniden düzenleyiniz ve yukarıdaki verileri yerine koyunuz.

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{0{,}000166\,\text{mol} \times 8.3145\,\text{Pa m}^3\,\text{mol}^{-1}\,\text{K}^{-1} \times 448\,\text{K}}{3{,}05 \times 10^{-4}\,\text{m}^3} = 2{,}03 \times 10^3\,\text{Pa}$$

Son olarak basıncı kilopaskala çeviriniz.

$$P = 2{,}03 \times 10^3\,\text{Pa} \times \frac{1\,\text{kPa}}{1000\,\text{Pa}} = 2{,}03\,\text{kPa}$$

Değerlendirme

Yukarıdaki birimler birbirini götürdükten sonra, geriye sadece istenen basınç biriminin kaldığını görmekteyiz.

ALIŞTIRMA A: 5,00 L lik bir depolama tankını 30 °C de ve 10,5 atm basınçta helyum gazı ile doldurmak için kaç mol He(g) gazına ihtiyaç vardır?

ALIŞTIRMA B: 3,45 m^3 hacmindeki vakum odasının basıncını, 25 °C de $6{,}67 \times 10^{-7}$ Pa değerine düşürdüğümüzde içinde kaç molekül N_2(g) kalır?

durumda ideal gaz denklemi, ilk ve son koşullarda iki kez uygulanmalıdır. Bunlar,

İlk koşul (i)	*Son koşul (s)*
$P_i V_i = n_i R T_i$	$P_s V_s = n_s R T_s$
$R = \frac{P_i V_i}{n_i T_i}$	$R = \frac{P_s V_s}{n_s T_s}$

R her iki koşulda aynı olduğundan yukarıdaki ifadeler birbirine eşittir.

$$\frac{P_i V_i}{n_i T_i} = \frac{P_s V_s}{n_s T_s} \qquad (6.12)$$

Eşitlik(6.12) bağıntısına **genel gaz denklemi** denir. Bu denklem genellikle bir veya iki gaz özelliğinin sabit olduğu durumlarda uygulanır. Denklem bu sabitler yok edilerek basitleştirilir. Örneğin, gazın kütlesi sabit ise, sıcaklık, basınç ve hacim değişimleri söz konusudur. Çünkü n_i ve n_s birbirine eşit olduğunda (mol sabit), bunlar birbirini götürür ve aşağıdaki eşitliğe dönüşür:

$$\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_s V_s}{T_s} \quad (n \text{ sabit})$$

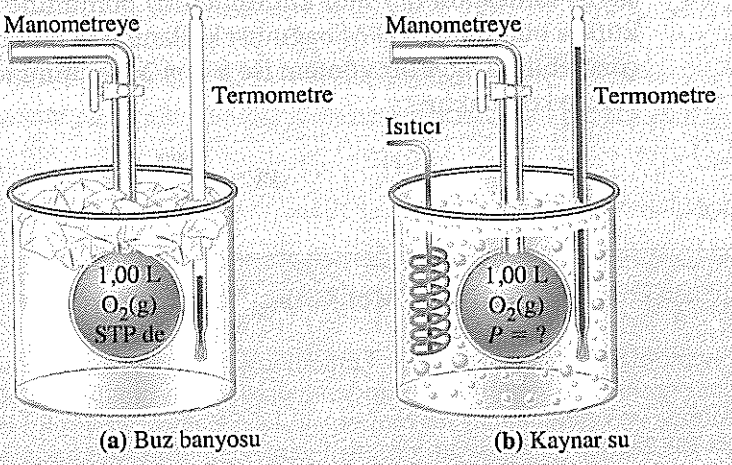
Bazen bu denkleme *birleşik gaz denklemi* de denir. Sabit kütle ve sabit hacimde, gaz basıncı ile sıcaklık arasında *Amontons yasası* denen basit bir ilişki vardır. Bu ilişki Örnek 6-6 da gösterilmiştir. Bu yasaya göre, belirli bir hacimde tutulan, belirli bir miktardaki gazın basıncı Kelvin sıcaklığı ile doğru orantılıdır.

Gaz Yasalarının Kullanılması

Öğrenciler gaz yasaları ile ilgili bir problemle karşılaştıklarında bazen hangi gaz denklemini kullanacaklarını kestiremezler. Gaz yasaları problemlerinde çoğunlukla birden fazla yol düşünülebilir. Eğer bir problem iki gazın veya tek bir gazın, iki halinin (başlangıç ve son) karşilaştırılması ile ilgiliyse, sabit kalan terim (n, P, T, V) götürüldükten sonra genel gaz denklemi (6.12) kullanılmalıdır. Diğer durumlarda (6.11) ideal gaz denklemi kullanılır.

ÖRNEK 6-6 Genel Gaz Denkleminin Uygulanması

Şekil 6-10(a) da verilen durum Şekil 6-10(b) durumuna değiştiriliyor. Şekil 6-10(b) de gaz basıncı ne kadar olur?



(a) Buz banyosu **(b)** Kaynar su

▲ ŞEKİL 6-10
Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bir gazın basıncı. Örnek 6.6 nın gösterimi
Gaz miktarı ve hacim sabit tutulmaktadır. **(a)** STP de 1,00 L $O_2(g)$; **(b)** 100 °C de 1,00 L $O_2(g)$.

Analiz

Genel gaz denkleminde sabit kalan terimleri belirleyiniz. Bu terimleri yok ederek kalanlarla denklemi çözünüz.

Çözüm

Bu durumda O_2 miktarı ($n_i = n_s$) ve hacim ($V_i = V_s$) sabittir.

$$\frac{P_i V_i}{n_i T_i} = \frac{P_s V_s}{n_s T_s} \quad \text{ve} \quad \frac{P_i}{T_i} = \frac{P_s}{T_s} \quad \text{ve} \quad P_s = P_i \times \frac{T_s}{T_i}$$

$P_i = 1{,}00$ bar, $T_i = 273$ K ve $T_s = 373$ K olduğundan

$$P_s = 1{,}00 \text{ bar} \times \frac{373 \text{ K}}{273 \text{ K}} = 1{,}37 \text{ bar}$$

Değerlendirme

Kapalı bir kap içerisindeki bir gaz ısıtıldığında ne olur sorusunun cevabını sezgilerimizle vererek, çözümümüzün kontrolünü nitel olarak yapabiliriz. Kabın basıncı artar (kap patlayıncaya kadar artabilir). Eğer yanlışlıkla sıcaklık oranını 273 K / 373 K alsaydık, son basınç 1,00 bar dan daha küçük çıkacaktı ve bu da imkansız bir sonuç olacaktı.

ALIŞTIRMA A: 36,2 °C ve 2,14 atm de 1,00 mL N_2 (g) örneği 37,8 °C a ısıtıldığında basıncı 1,02 atm e değişmektedir. Son sıcaklık ve basınçtaki gaz ne kadar hacim işgal eder?

ALIŞTIRMA B: Şekil 6-10 da $O_2(g)$ gazı 100°C ye ısıtıldığında basıncı 1,00 atm de tutmak istediğimizi varsayalım. Bu durumda balondan kütlece ne kadar $O_2(g)$ salınmalıdır?

6-4 İdeal Gaz Denkleminin Uygulamaları

İdeal gaz denklemi daima (6.11) eşitliğinde gösterildiği şekilde kullanılmakla birlikte, bazı uygulamalarda biraz değişiklik yapmak yararlıdır. Bununla ilgili olarak, bu kesimde mol kütlesi ve gaz yoğunluğu tayini gibi iki uygulama üzerinde duracağız.

Mol Kütlesi Tayini

Bir gazın sabit sıcaklık ve basınçta kapladığı hacmi bilirsek, ideal gaz denkleminden gaz miktarını(n) mol cinsinden bulabiliriz. Gazın mol sayısı kütlesinin (m) mol kütlesine (M) bölümüne eşit olduğundan, gaz kütlesi bilinirse $n = m/M$ bağıntısı kullanılarak bilinmeyen mol kütlesi (M) çözülebilir. Diğer bir yöntem ise $n = m/M$ terimini ideal gaz denkleminde yerine koymaktır.

$$PV = \frac{mRT}{M} \qquad (6,13)$$

ÖRNEK 6-7 İdeal Gaz Denklemiyle Mol Kütlesi Tayini

Propilen ticari önemi olan bir gazdır (en çok kullanılan kimyasal maddeler arasında dokuzuncudur). Bu gaz diğer organik maddelerin sentezinde ve plastiklerin (polipropilen) üretiminde kullanılır. Temiz, kurutulmuş ve vakumlanmış bir cam tüp 40,1305 g ağırlığa sahiptir. Bu tüp 25 °C de su ile doldurulduğunda 138,2410 g gelmektedir. Propilen gazı ile doldurulduğunda ise 24,0 °C sıcaklık ve 740,3 mmHg basınç koşullarında 40,2959 g gelmektedir. Propilenin mol kütlesi ne kadardır? (25 °C de suyun yoğunluğu = 0,9970 g/mL).

Analiz

Burada bize basınç (mmHg) ve sıcaklık (°C) verilmiştir. Verilen bilgilerden, kabın hacmini ve gazın miktarını (g) bulabiliriz. Veriler Kelvin, atmosfer, mol ve litre cinsinden yerine konursa, (6.13) eşitliğinde $R = 0,08206$ atm L K^{-1} mol^{-1} alarak gazın mol kütlesini hesaplayabiliriz.

Çözüm

İlk olarak cam tüpü dolduran suyun kütlesini buluruz.

Kabı dolduran suyun kütlesi = 138,2310 g − 40,1305 g = 98,1105 g

Suyun yoğunluğunu kullanarak suyun hacmine (keza cam kabın hacmine) geçmek için bir çevirme faktörü.

$$\text{Suyun hacmi (kabın hacmi)} = 98,1105\ \text{g}\ H_2O \times \frac{1\ \text{mL}\ H_2O}{0,9970\ \text{g}\ H_2O} = 98,41\ \text{mL} = 0,09841\ \text{L}$$

Gazın kütlesi, kabın propilen gazı ile dolu halinden boş halini çıkararak bulunur.

Gaz kütlesi = 40,2959g − 40,1305 g = 0,1654g

Verilen basınç ve sıcaklık değerleri.

$$T = 24,0\ °\text{C} + 273,15 = 297,2\ \text{K}$$

$$P = 740,3\ \text{mmHg} \times \frac{1\ \text{atm}}{760\ \text{mmHg}} = 0,9741\ \text{atm}$$

Değerler (6.13) denkleminin düzenlenmiş halinde yerine konur.

$$M = \frac{mRT}{PV} = \frac{0,1654\ \text{g} \times 0,08206\ \text{atm L mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 297,2\ \text{K}}{0,9741\ \text{atm} \times 0,09841\ \text{L}}$$

$$= 42,08\ \text{g mol}^{-1}$$

Değerlendirme

Birim götürmeleri yapıldıktan sonra geriye g ve mol^{-1} birimleri kalır. g mol^{-1} veya g/mol birimi bizim aradığımız mol kütlesidir. Bu problemin çözümü için bir başka yaklaşım daha kullanabiliriz. Örnekteki gazın mol sayısını (0,003931 mol) hesaplamak için basınç (0,9741 atm), sıcaklık (297,2 K) ve hacmi (0,003931 L) ideal gaz denleminde yerine koyabiliriz. 0,165 g örnek 0,003931 mol içerdiğinden mol kütlesi 0,165 g/0,003931 mol = 42,0 g mol^{-} dir. Bu alternatif yaklaşımın üstünlüğü sadece ideal gaz eşitliğinin kullanılmasıdır; böylece (6.13) eşitliğinin türetilmesine ve ezberlenmesine gerek kalmaz.

ALIŞTIRMA A: Örnek 6-7 de kullanılan aynı cam tüp bilinmeyen bir gazla 772 mmHg ve 22,4 °C de doldurulmaktadır. Gaz ile doldurulan tüp 40,4868 g ağırlığındadır. Gazın mol kütlesi ne kadardır?

ALIŞTIRMA B: NO ya da NO_2 olduğu sanılan 1,27 g azot oksit örneği 25 °C ve 737 mmHg da 1,07 L hacim kaplamaktadır. Bu gaz hangi oksittir?

Örnek 6-7 de, (6.13) denklemi mol kütlesi tayini için kullanılmaktadır. Bu denklemin, gazın mol kütlesi bilindiğinde ve kütlesi istendiğinde de kullanılabileceğine dikkat ediniz.

Bilinmeyen bir hidrokarbonun formülünü belirlemek istediğimizi düşünelim. Yakma analizi ile kütlece yüzde bileşimlerini ve buradan da kaba formülünü belirleyebiliriz. Örnek 6-7 deki yöntem bize mol kütlesini g mol^{-1} olarak verir. Bu değer atom kütle birimi cinsiden molekül kütlesine sayısal olarak eşittir ve hidrokarbonun molekül formülünü belirlemek için gerekli bilgiyi sağlar (Alıştırma 96 ya bakınız).

Gaz Yoğunlukları

Bir gazın yoğunluğunu belirlemek için yoğunluk eşitliğini, $d = m/V$, kullanabiliriz. Daha sonra gazın kütlesini, mol sayısı ile mol kültesinin çarpımından, $m = n \times M$, bulabiliriz.

$$d = \frac{m}{V} = \frac{n \times M}{V} = \frac{n}{V} \times M$$

Şimdi ideal gaz denklemindeki n/V değerinin eşdeğeri olan P/RT değerini yukarıdaki eşitlikte yerine koyabiliriz.

$$d = \frac{m}{V} = \frac{MP}{RT} \qquad (6,14)$$

STP de bir gazın yoğunluğu, mol kütlesi molar hacimine (22,7 L/mol) bölünerek kolayca hesaplanabilir. Örneğin, $O_2(g)$ gazının STP de yoğunluğu 32,0 g/22,7 L = 1,41 g/L dir. Diğer sıcaklık ve basınçlarda (6.14) bağıntısı kullanılabilir.

UNUTMAYINIZ

Gazların yoğunlukları genellikle katı ve sıvı yoğunluklarından çok daha küçüktür. Gazların yoğunlukları çoğunlukla g/mL değil, g/L olarak ifade edilir.

ÖRNEK 6-8 Gaz Yoğunluğunun İdeal Gaz Denklemi Kullanılarak Hesaplanması

Oksijen gazının (O_2) 298 K ve 0,987 atm deki yoğunluğu nedir?

Analiz

Gaz belirli olduğuna göre mol kütlesini hesaplayabiliriz. Sıcaklığı Kelvin, basıncı atmosfer alırsak, R = 0,08206 atm L K^{-1} mol^{-1} olacaktır. Bu değerleri (6.14) eşitliğinde yerine koyabiliriz.

Çözüm

O_2 nin mol kütlesi 32,0 g mol^{-1} dur. Şimdi (6.14) eşitliğini kullanabiliriz.

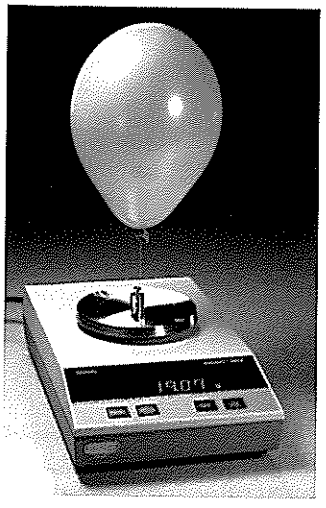
$$d = \frac{m}{V} = \frac{MP}{RT} = \frac{32,00 \text{ g mol}^{-1} \times 0,987 \text{ atm}}{0,08206 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K}} = 1,29 \text{ g/L}$$

Değerlendirme

Bu problemi başka bir yoldan da çözebiliriz. Belirli bir sıcaklık ve basınçtaki gazın yoğunluğunu hesaplamak için gazın 1,00 L hacmi esas alınır. Gazın 1,00 L sinin kütlesi litrede gram olarak gazın yoğunluğuna eşittir. 1,00 L gazın kütlesini hesaplamak için önce gazın 1,00 L deki mol sayısı ideal gaz denklemi yardımı ile hesaplanır. Daha sonra, mol miktarı bir çevirme faktörü yardımıyla gram miktarına çevrilir. Bu durumda, 1,00 L O_2 in 0,987 atm ve 298 K deki miktarı 0,00404 mol O_2 veya 1,29 g O_2 dir. Bu sıcaklık ve basınçta 1,00 L O_2 nin kütlesi 1,29 g olduğuna göre, yoğunluğu da 1,29 g/L dir.?

ALIŞTIRMA A: Helyum gazının 298 K ve 0,987 atm deki yoğunluğu nedir? Çözümünüze bağlı olarak helyum gazının neden "havadan daha hafif" olduğunu açıklayınız?

ALIŞTIRMA B: O_2 (g) gazının yoğunluğunun 745 mmHg de 1,00 g/L olması için sıcaklık ne olmalıdır?



▲ ŞEKİL 6-11
Helyum doldurulmuş balon 20,00 g lık ağırlık üzerinde bir kaldırma kuvveti oluşturur. Bu nedenle balon ve ağırlığın toplam tartısı sadece 19,09 g dır.

Katı ve sıvı yoğunlukları ile gaz yoğunlukları arasında iki önemli fark vardır.

1. Gaz yoğunlukları önemli ölçüde basınç ve sıcaklığa bağlıdır; basınç arttıkça artar ve sıcaklık arttıkça azalır. Sıvı ve katıların yoğunlukları da bir ölçüde sıcaklığa bağlıdır ancak basınca çok çok az bağlıdır.

2. Bir gazın yoğunluğu, mol kütlesi ile doğru orantılıdır. Ancak, sıvı ve katıların yoğunlukları ile mol kütleleri arasında böyle bir ilişki yoktur.

Gaz yoğunlukları havadan hafif balonların yapılmasında büyük önem taşırlar. Gaz ile doldurulmuş bir balon ancak gazın yoğunluğu havadan küçük ise atmosferde yükselir. Gaz yoğunlukları mol kütleleri ile doğru orantılı olduğundan, daha düşük mol kütleli gaz daha çok kaldırma kuvvetine sahiptir. Mol kütlesi en küçük olan gaz hidrojendir, fakat hidrojen yanıcıdır ve havayla patlayıcı karışımlar oluşturur. 1937 de *Hindenburg* zeplininin patlaması, hidrojenle doldurulmuş hava gemileri ile okyanus aşırı yolculuğun sonu olmuştur. Şimdilerde hava gemilerinde, örneğin Goodyear keşif gemisinde, hidrojenin sadece iki katı mol ağırlığına sahip fakat inert helyum gazı kullanılmaktadır (Şekil 6-11). Hidrojen ise hala meteoroloji ve diğer gözlem balonlarında kullanılmaktadır.

Diğer bir seçenek de balonu *sıcak* havayla doldurmaktır. Eşitlik(6.14) bağıntısına göre, bir gazın yoğunluğu sıcaklık ile *ters* orantılıdır. Sıcak hava soğuk havadan daha az yoğundur. Ancak, yükseldikçe dış hava yoğunluğunun hızla düşmesinden dolayı, sıcak hava ya da sıcak gaz doldurulmuş balonların çıkabileceği yükseklik sınırlıdır.

6-5 Kimyasal Tepkimelerde Gazlar

Gazların tepken ya da ürün olarak yer aldığı tepkimeler bizlere yabancı değildir. Şimdi, tepkime stokiyometrisi hesaplamalarında kullanabileceğimiz bir başka yola, ideal gaz denklemine sahibiz. Gazlarla ilgili hacim, sıcaklık, basınç, kütle ve mol miktarı terimleriyle ilgili işlemler yapabilecek bilgiye de sahibiz. Otomobillerin hava yastığı emniyet sisteminde sodyum azitin hızla parçalanarak azot gazı vermesine dayanan tepkime, gazların pratik uygulamalarına ait tipik bir örnektir.

$$2\,NaN_3(k) \xrightarrow{\Delta} 2\,Na(s) + 3\,N_2(g)$$

Bu hava yastığı sistemin en önemli bileşenleri, palet halindeki uygun katkılı sodyum azit ve ateşleme düzeneğidir. Sistem aktif hale geldiğinde, hava yastığını 20 ile 60 ms içerisinde şişirir ve Na(s) zararsız bir katı atığa dönüştürülür.

Gaz içeren tepkimelerde; (1)gazın miktarını diğer tepken ve ürünlerin miktarıyla ilişkilendiren stokiyometrik faktörü ve (2)gazın hacmi, sıcaklığı ve basıncını birbirine bağlayan ideal gaz denklemini kullanabiliriz. Örnek 6-9 da tipik bir hava yastığı sisteminde oluşan $N_2(g)$ hacmi tayini için bu yaklaşım kullanılmaktadır.

Birleşen Hacimler Yasası

Tepken ve ürünlerin ya da bunlardan bazılarının gaz olduğu tepkimelerdeki stokiyometrik hesaplamalarda, bazen belirli basit yaklaşımlar kullanabiliriz. Aşağıdaki tepkimeyi ele alalım.

$$2NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$$
$$2\text{ mol } NO(g) + 1\text{ mol } O_2(g) \longrightarrow 2\text{ mol } NO_2(g)$$

ÖRNEK 6-9 **Tepkime Stokiyometrisi Hesaplamalarında İdeal Gaz Denkleminin Kullanılması**

75,0 g sodyum azitin[NaN_3] parçalanmasıyla oluşan N_2 gazının 735 mmHg ve 26 °C da ölçülen hacmi ne kadardır?

$$2\,NaN_3(k) \xrightarrow{\Delta} 2\,Na(s) + 3\,N_2(g)$$

Analiz

Aşağıdaki dönüştürme işlemlerinin yapılması gerekir.

$$g\,NaN_3 \longrightarrow mol\,NaN_3 \longrightarrow mol\,N_2 \longrightarrow L\,N_2$$

Yukarıdaki birinci dönüştürme için NaN_3 ün mol kütlesi kullanılır. İkinci dönüştürmede, kimyasal tepkimenin katsayılarından elde edilen stokiyometrik faktör kullanılır. En son dönüştürme için ideal gaz denklemi kullanılır.

Çözüm

$$?mol\,N_2 = 75{,}0\,g\,NaN_3 \times \frac{1\,mol\,NaN_3}{65{,}01\,g\,NaN_3} \times \frac{3\,mol\,N_2}{2\,mol\,NaN_3} = 1{,}73\,mol\,N_2$$

$$P = 735\,mmHg \times \frac{1\,atm}{760\,mmHg} = 0{,}967\,atm$$

$V = ?$

$n = 1{,}73\,mol$

$R = 0{,}08206\,atm\,L\,mol^{-1}\,K^{-1}$

$T = 26\,°C + 273 = 299\,K$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{1{,}73\,mol \times 0{,}08206\,atm\,L\,mol^{-1}\,K^{-1} \times 299\,K}{0{,}967\,atm} = 43{,}9\,L$$

Değerlendirme

75,0 g NaN_3 bir mol den biraz fazladır($M \sim 65$ g/mol). Bu miktardaki NaN_3 den yaklaşık olarak 1,5 mol den biraz fazla $N_2(g)$ oluşması beklenir. 0°C ve 1 atm de, 1,5 mol $N_2(g)$ gazı 1,5 × 22,4 = 33,6 L lik bir hacim kaplar. Sıcaklık 0°C den daha yüksek ve basınç 1 atm den daha düşük olduğu için, gazın hacminin 33,6 L den daha büyük olması gerekir.

ALIŞTIRMA A: 30,0 °C ve 776 mmHg de 20,0 L $N_2(g)$ gazı elde etmek için kaç gram NaN_3 gerekli dir?

ALIŞTIRMA B: Sodyum azitin bozunmasıyla 25 °C ve 1 bar da oluşan N_2 (g) nin litresi başına kaç g Na(s) oluşur?

Gazların aynı T ve P de karştırıldığını düşünelim. Bu koşullarda bir mol gaz belirli bir hacim, diyelim ki V litre hacim kaplar. Aynı şekilde gazın iki molü $2V$ litre hacim kaplar, vb.

$$2V\,L\,NO(g) + V\,L\,O_2(g) \longrightarrow 2V\,L\,NO_2(g)$$

Katsayıları V ye bölersek aşağıdaki sonucu elde ederiz.

$$2\,L\,NO(g) + 1L\,O_2(g) \longrightarrow 2\,L\,NO_2(g)$$

Aynı sıcaklık ve basınçta, tepkimeye giren ve tepkimede oluşan gazların hacim oranları, mol oranlarına eşittir.

Böylece Gay-Lussac **birleşen hacimler yasası** denilen yeni bir tanım geliştirmiş oluyoruz. Bu yasayı, sayfa 201 de "bir tepkimede yer alan gazların hacimleri arasında basit tamsayılarla ifade edilebilen bir oran vardır" şeklinde daha önce görmüştük. Küçük tam sayılar denkleştirilmiş tepkimedeki basit stokiyometrik katsayılardır. Bu yasayı Örnek 6-10 da uygulayalım.

ÖRNEK 6-10 Birleşen Hacimler Yasasının Uygulanması

Çinko sülfür, ZnS, en önemli çinko cevheridir. Çinkonun ticari üretimindeki ilk aşama, ZnS ün oksijen içerisine kavrulmasıdır (şiddetli ısıtma).

$$2\,ZnS(k) + 3\,O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 2\,ZnO(k) + 2\,SO_2(g)$$

Aşırı ZnS(k) *ve 1,00 L* O_2(g) den oluşacak olan SO_2(g) hacmi ne kadardır? Her iki gaz da 25 °C ve 745 mmHg de ölçülmüştür.

Analiz

Karşılaştırılan tepken ve ürünlerin her biri gaz halindedir ve her ikisi de aynı sıcaklık ve basınçtadır. Bu nedenle birleşen hacimler yasasını kullanabilir ve denklendirilmiş kimyasal tepkimenin katsayılarını litre biriminde alabiliriz.

Çözüm

Aşağıda mavi ile yazılan stokiyometrik faktör, L O_2(g) değerini L SO_2(g) değerine çevirmektedir.

$$?\,L\,SO_2(g) = 1{,}00\,L\,O_2(g) \times \frac{2\,L\,SO_2(g)}{3\,L\,O_2(g)} = 0{,}667\,L\,SO_2(g)$$

Değerlendirme

Bazı öğrenciler bu problemi çözmek için L O_2 ⟶ mol O_2 ⟶ mol SO_2 ⟶ L SO_2 dönüşümünü kullanabilirler. Bu yaklaşım ile de çözülebilir, ancak bu şekilde yapılan çözüm bizim yukarıda belirttiğimizden daha basit değildir.

ALIŞTIRMA A: Nitrik asit üretiminde ilk aşama amonyağı azot monokside dönüştürmektedir. Bu işlem yüksek sıcaklıkta ve platin katalizör varlığında gerçekleştirilir. Bir litre NO(g) başına harcanan O_2 (g) hacmi ne kadardır?

$$4\,NH_3(g) + 5\,O_2(g) \xrightarrow[850\,°C]{Pt} 4\,NO(g) + 6\,H_2O(g)$$

ALIŞTIRMA B: $N_2(g) + H_2(g) \longrightarrow NH_3(g)$ (eşitlenmemiş) tepkimesindeki bütün gazlar aynı sıcaklık ve basınçta ölçüldüğünde, 225 L H_2(g) harcandığında oluşan NH_3(g) hacmi ne kadardır?

6-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Örnek 6-10 daki (a) her iki gaz da STP de ölçüldüğünde; (b) O_2 gazı STP de ancak SO_2 gazı 25 °C ve 745 mmHg de ölçüldüğünde, yanıt 0,667 L den büyük mü, küçük mü, yoksa eşit mi olacaktır?

6-6 Gaz Karışımları

Basit gaz yasaları (Boyle ve Charles yasaları gibi), bir gaz karışımı olan havanın davranışı üzerine kurulmuştur. Böylelikle, basit gaz yasaları ve ideal gaz denklemi tek tek gazlara uygulandığı gibi, birbirleriyle etkileşmeyen gaz *karışımlarına* da uygulanabilir. Gaz karışımlarını içeren böyle durumlarda en basit yaklaşım, gaz karışımının *toplam* mol sayısını, n, kullanmaktır (n_t).

T sıcaklığında ve V hacmideki bir kapta bulunan bir gaz karışımını düşünün. Bu karışımın toplam basıncı toplam mol sayısına bağlıdır.

$$P_t = \frac{n_t\,RT}{V} \quad (T \text{ sabit}, V \text{ sabit}) \qquad \textbf{(6.15)}$$

Bir gaz karışımının toplam hacmi de T ve P nin sabit olduğu durumlarda toplam mol sayısına bağlıdır.

$$V_t = \frac{n_t\,RT}{P} \quad (T \text{ sabit}, P \text{ sabit})$$

ÖRNEK 6-11 İdeal Gaz Denkleminin Gaz Karışımlarına Uygulanması

1,0 g H_2 ve 5,00 g He karışımı 20 °C de 5,0 L lik bir kaba konduğunda karışımın uyguladığı basınç kaç bardır?

Analiz

Sabit T ve V de bir gaz karışımın toplam basıncı, toplam mol sayısına bağlıdır.

Çözüm

$$n_t = \left(1{,}0\ \text{g}\ H_2 \times \frac{1\ \text{mol}\ H_2}{2{,}02\ \text{g}\ H_2}\right) + \left(5{,}00\ \text{g He} \times \frac{1\ \text{mol He}}{4{,}003\ \text{g He}}\right)$$

$$= 0{,}50\ \text{mol}\ H_2 + 1{,}25\ \text{mol He} = 1{,}75\ \text{mol gaz}$$

$$P = \frac{1{,}75\ \text{mol} \times 0{,}0831\ \text{bar L mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 293\ \text{K}}{5{,}0\ \text{L}} = 8{,}5\ \text{bar}$$

Değerlendirme

Bu problemi (6.12) eşitliğinden çıkarak da çözmek olasıdır. 1 mol ideal gaz 0 °C ve 1 bar da 22,7 L geldiğinden, 5,0 L kapta 293 K de 1,75 mol gazın oluşturduğu basınç (1,75 mol/1,00 mol) × (293 K/273K) × (22,7 L/5,0 L) × 1,0 bar = 8,5 bar olacaktır.

ALIŞTIRMA A: Örnek 6-11 de verilen gaz karışımına 12,5 g Ne katılıp, sıcaklık 55 °C ye yükseltildiğinde toplam gaz basıncı ne olacaktır? [*İpucu*: Gazın yeni mol sayısı nedir? Bir gazın sabit hacimde sıcaklığını yükseltmenin basınca etkisi nedir?]

ALIŞTIRMA B: 0,00 °C ve 1,00 atm de 2,0 L $O_2(g)$ ve 8,0 L $N_2(g)$ karıştırılıyor. Birbiriyle tepkimeye girmeyen bu gaz karışımı 298 K de 2 L ye sıkıştırılıyor. Bu karışımın oluşturduğu basınç nedir?

John Dalton gaz karışımları çalışmalarına önemli bir katkıda bulunmuştur. Dalton, bir kapta bulunan bir gaz karışımındaki her bir gazın, kabı dolduracak şekilde genleştiğini ve kabın içinde tek başına bulunduğu zaman uygulayacağı basınca eşdeğer bir basınç uyguladığını ileri sürmüş ve karışımdaki bir gazın uyguladığı basınca o gazın **kısmi basıncı** demiştir. **Dalton'un kısmi basınçlar yasasına** göre, bir gaz karışımının toplam basıncı karışımın bileşenlerinin kısmi basınçlarının toplamına eşittir (Şekil: 6-12). Örneğin, A, B, ... gaz karışımları için

$$P_t = P_A + P_B + \ldots \tag{6.16}$$

UNUTMAYINIZ
Bu ifade kullanıldığında $V_A = V_B = \ldots = V_t$ dir.

n_A mol A, n_B mol B ve diğer gazlardan oluşan bir karışımda, her bir gazın P_t basıçta tek başına kaplayacağı hacim

$$V_A = n_A RT/P_t; \quad V_B = n_B RT/P_t; \text{ vb.}$$

Gaz karışımının toplam hacmi şöyledir:

$$V_t = V_A + V_B \ldots$$

genel olarak kullanılan ifade, *hacim yüzdesi*dir:

$$\text{A nın hacim \% si} = \frac{V_A}{V_t} \times \%100; \quad \text{B nin hacim \% si} = \frac{V_B}{V_t} \times \%100; \cdots$$

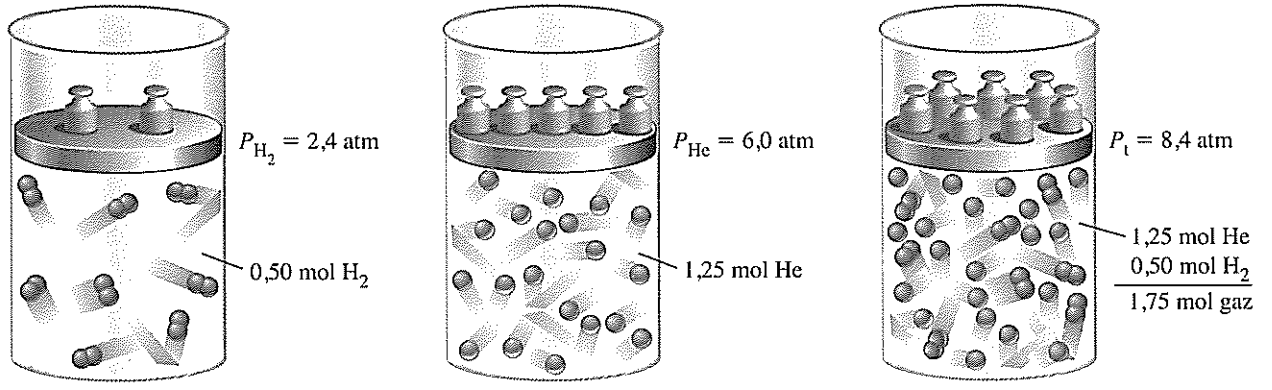
UNUTMAYINIZ
Bu ifade kullanıldığında $P_A = P_B = \ldots = P_t$ dir.

Aşağıdaki oranları kullanarak çok yararlı bir bağıntı türetebiliriz:

$$\frac{P_A}{P_t} = \frac{n_A(\cancel{RT/V_t})}{n_t\ (\cancel{RT/V_t})} = \frac{n_A}{n_t} \quad \text{ve} \quad \frac{V_A}{V_t} = \frac{n_A(\cancel{RT/P_t})}{n_t\,(\cancel{RT/P_t})} = \frac{n_A}{n_t}$$

bunun anlamı,

$$\frac{n_A}{n_t} = \frac{P_A}{P_t} = \frac{V_A}{V_t} = x_A \tag{6.17}$$



(a) 20 °C de 5,0 L (b) 20 °C de 5,0 L (c) 20 °C de 5,0 L

▲ ŞEKİL 6-12
Dalton'un kısmi basınçlar yasasının gösterimi
Her bir gazın basıncı mol sayısı ile orantılıdır. Toplam basınç, gazların kısmi basınçları toplamıdır.

Burada n_A / n_t terimine A nın mol kesri, x_A denir. Bir bileşenin **mol kesri**, kendi mol sayısının karışım içindeki bütün bileşenlerin mol sayıları toplamına oranıdır. Bir karışım içinde bütün mol kesirleri toplamı 1 e eşittir.

Örnek 6-12 de gösterildiği gibi, gaz karışımlarına değişik yönlerden bakılabilir.

ÖRNEK 6-12 Bir Gaz Karışımında Kısmi Basınçların Hesaplanması

Örnek 6-12 de verilen gaz karışımı içindeki H_2 ve He gazlarının kısmi basınçları nedir?

Analiz

Her bir gazın kısmi basıncını ayrı ayrı bulmak için ideal gaz denklemi kullanılabilir.

Çözüm

Çözüm yollarından biri, Dalton yasasını uygulamaktır. Bu da her gazın kap içinde tek başına olduklarında oluşturdukları basıncı hesaplamakla yapılır.

$$P_{H_2} = \frac{n_{H_2} \times RT}{V} = \frac{0{,}50\ \text{mol} \times 0{,}0821\ \text{atm L mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 293\ \text{K}}{5{,}0\ \text{L}} = 2{,}4\ \text{atm}$$

$$P_{He} = \frac{n_{He} \times RT}{V} = \frac{1{,}25\ \text{mol} \times 0{,}0821\ \text{atm L mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 293\ \text{K}}{5{,}0\ \text{L}} = 6{,}0\ \text{atm}$$

(6-17) bağıntısı bu soruyu yanıtlamanın basit bir yolunu vermektedir. Zira 6-11 Örneğinden toplam basıncı (P_t = 8,4 atm) ve herbir gazın mol sayısını biliyoruz.

$$P_{H_2} = \frac{n_{H_2}}{n_t} \times P_t = \frac{0{,}50}{1{,}75} \times 8{,}4\ \text{atm} = 2{,}4\ \text{atm}$$

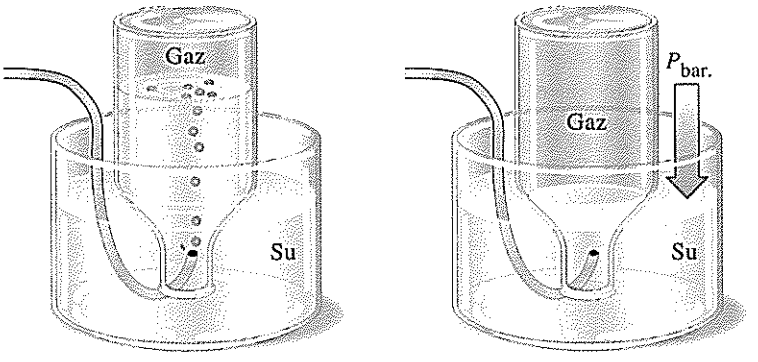
$$P_{He} = \frac{n_{He}}{n_t} \times P_t = \frac{1{,}25}{1{,}75} \times 8{,}4\ \text{atm} = 6{,}0\ \text{atm}$$

Değerlendirme

Yanıtı kontrol etmenin etkin bir yolu, burada olduğu gibi problemi farklı yoldan çözüp aynı sonucu bulmaktır.

ALIŞTIRMA A: 0,197 mol CO_2(g) ve 0,00278 mol H_2O(g) karışımı 30,0 °C ve 2,50 atm de tutulmaktadır. Herbir gazın kısmi basıncı nedir?

ALIŞTIRMA B: Havanın hacimce yüzde bileşimi % 78,08 N_2, % 20,95 O_2, % 0,93 Ar, ve % 0,036 CO_2 şeklindedir. 748 mmHg barometre basıncında bir hava örneğindeki bu dört gazın kısmi basınçları nedir?



▲ ŞEKİL 6-13
Bir gazın su üzerinde toplanması
Bir şişe, su ile doldurulur ve açık ucu su seviyesinin altında olacak şekilde, su dolu bir kaba daldırılır. Üretilen bir gaz doğrudan şişenin içine yönlendirilir. Şişenin içinde gaz toplandıkça şişedeki su kabın içine boşalır. Şişe içindeki toplam gaz basıncını barometre basıncına eşit yapmak için, şişe içinde ve dışındaki su seviyesi aynı olacak şekilde ayarlanmalıdır.

6-7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın, Şekil 6-12 (a) daki silindire fazladan 0,50 mol H_2 gazı eklendiğinde Şekil 6-12 (c) deki seviyenin ne olmasını beklersiniz: (**a**) H_2 nin mol kesri iki katına çıkar, (**b**) He un kısmi basıncı aynı kalır, (**c**) He un mol kesri aynı kalır, (**d**) toplam gaz basıncı % 50 artar, (**e**) gazın toplam kütlesi 1,0 g artar.

Şekil 6-13 de verilen düzenek, kimyanın ilk günlerinde gazların ayrı olarak elde edilmesinde sık sık kullanılmıştır. Kuşkusuz bu gaz toplama yöntemi, gazın kaptaki sıvı içinde çözünmediği ve bir tepkime vermediği durumlarda geçerlidir. H_2, O_2 ve N_2 gazları suda çözünmeyen ve su ile tepkime vermeyen gazlardır.

◀ Eskiden yapılan deneylerde, suda çözünebilen gazların toplanabilmesi için hava oluğu olarak cıva kullanılırdı.

Gaz toplama düzeneğinde, suyun yerini alarak toplanan gaza *su üstünde toplanan gaz* denir ve bu gaz "ıslak" yani su buharı ile karışıktır. Toplanan gaz kabı işgal edecek biçimde genleşir ve P_{gaz} kısmi basıncını uygular. Ayrıca sıvı suyun buharlaşması sonucu oluşan su buharı da kabı doldurur ve P_{H_2O} kısmi basıncını uygular. Su buharının basıncı Çizelge 6.4 de gösterildiği gibi sadece su sıcaklığına bağlıdır.

ÇİZELGE 6.4 Değişik Sıcaklıklarda Suyun Buhar Basıncı

Sıcaklık, °C	Buhar Basıncı, mmHg
15,0	12,79
17,0	14,53
19,0	16,48
21,0	18,65
23,0	21,07
25,0	23,76
30,0	31,82
50,0	92,51

Dalton yasasına göre ıslak gazın toplam basıncı iki kısmi basıncın toplamına eşittir. Toplam basıncı atmosfer basıncına (barometre basıncına) eşitleyebiliriz:

$$P_t = P_{bar} = P_{gaz} + P_{H_2O} \quad \text{ya da} \quad P_{gaz} = P_{bar} - P_{H_2O}$$

Buradan bulunan P_{gaz} stokiyometrik hesaplamalarda kullanılabilir (Örnek 6-13).

ÖRNEK 6-13 Bir Gazın Su Üzerinde Toplanması

Aşağıdaki tepkimede, su üzerinde 23 °C ve 751 mm Hg barometre basıncında 81,2 mL $O_2(g)$ toplanmaktadır. Bozunan $Ag_2O(k)$ kütlesi ne kadardır? (Suyun 23 °C deki buhar basıncı = 21,1 mmHg.)

$$2Ag_2O(k) \longrightarrow 4\,Ag\,(k) + O_2(g)$$

(devam ediyor)

Analiz

Toplanan gaz ıslaktır ve $O_2(g)$ ile su buharının bir *karışımıdır*. P_{O_2} basıncını hesaplamak için $P_{bar.} = P_{O_2} + P_{H_2O}$ eşitliğini kullanınız ve sonra ideal gaz denklemini kullanarak O_2 nin mol sayısını hesaplayınız. Hesaplamayı tamamlamak için şu dönüşüm kullanılır: mol $O_2 \longrightarrow$ mol $Ag_2O \longrightarrow$ g Ag_2O.

Çözüm

$$P_{O_2} = P_{bar.} - P_{H_2O} = 751\,mmHg - 21{,}1\,mmHg = 730\,mmHg$$

$$P_{O_2} = 730\,mmHg \times \frac{1\,atm}{760\,mmHg} = 0{,}961\,atm$$

$$V = 81{,}2\,mL = 0{,}0812\,L$$

$$n = ?$$

$$R = 0{,}08206\,atm\,L\,mol^{-1}\,K^{-1}$$

$$T = 23\,°C + 273 = 296\,K$$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{0{,}961\,atm \times 0{,}0812\,L}{0{,}08206\,atm\,L\,mol^{-1}\,K^{-1} \times 296\,K} = 0{,}00321\,mol$$

Kimyasal tepkimeden O_2 mol değerini Ag_2O mol değerine çevirmek üzere bir faktör bulunur. Ag_2O in mol kütlesi de son çevirme faktörüdür.

$$?\,g\,Ag_2O = 0{,}00321\,mol\,O_2 \times \frac{2\,mol\,Ag_2O}{1\,mol\,O_2} \times \frac{231{,}7\,g\,Ag_2O}{1\,mol\,Ag_2O} = 1{,}49\,g\,Ag_2O$$

Değerlendirme

Numunedeki O_2 mol sayısının belirlenmesi hesaplamanın anahtar kısmıdır. Normal koşullarda ($T \approx 298$ K, $P \approx 760$ mmHg) ideal gazın molar hacminin yaklaşık 24 L olduğundan yola çıkarak, numunedeki O_2 mol sayısını kolayca tahmin edebiliriz. Numunedeki gazların mol sayısı (çoğunluğu O_2) yaklaşık olarak 0,08 L/24 L = 0,003 mol dur. Bulunan bu değer hesaplanan değere oldukça yakındır.

ALIŞTIRMA A: Aluminyum ile hidroklorik asidin tepkimesinden hidrojen gazı oluşur. Denkleştirilmiş kimyasal tepkime eşitliği aşağıdadır.

$$2Al(k) + 6\,HCl(suda) \longrightarrow 2AlCl_3(suda) + 3\,H_2(g)$$

755 mmHg barometre basıncında ve 26 °C de su üzerinde 35,5 mL $H_2(g)$ toplanmışsa, kaç mol HCl harcanmıştır? (Suyun 26 °C deki buhar basıncı 25,2 mmHg dir.)

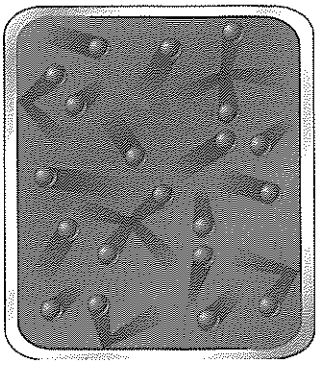
6-7 Gazların Kinetik-Molekül Kuramı

Kesim 1-1 de bilimsel yöntemde verilen bazı terimleri burada uygulayalım. Buraya değin edindiğimiz bilgilere göre, gazların davranışlarını açıklamak için basit gaz yasalarını ve ideal gaz denklemini kullanabiliriz. *Doğal yasalar* denen bu gaz yasalarını açıklamak için, işin kuramsal temeline inmemiz gerekir. Gazların davranışları ile ilgili basit yasaları açıklamak için 19. yüzyılın ortalarında **gazların kinetik-molekül kuramı** denen bir kuram ortaya atılmıştır. Bu kuram, Şekil 6-14 da gösterilen ve aşağıda belirtilen gaz *modeline* dayanır.

- Gazlar sürekli olarak, gelişi güzel ve doğrusal harekete sahip, çok çok küçük, çok sayıda taneciklerin (moleküller ya da bazı durumlarda atomlar) biraraya gelmesiyle oluşmuşlardır.
- Gaz molekülleri birbirinden çok uzaktadırlar. Yani gaz hemen hemen tümüyle bir boşluk olarak düşünülebilir. (Moleküller sanki kütlesi olan, ancak hacmi olmayan tanecikler olarak kabul edilir. Bu taneciklere nokta kütleler adı verilir.)
- Moleküller birbirleri ve bulundukları kabın çeperleri ile çarpışırlar. Ancak bu çarpışmalar çok hızlıdır ve moleküller arası çarpışmalar çok azdır.
- Moleküller arasında, çarpışma sırasında oluşan zayıf kuvvetler dışında, hiçbir kuvvet olmadığı kabul edilir. Yani, bir molekül diğerlerinden bağımsız olarak hareket eder ve etkilenmez.

- Tek tek moleküller çarpışma sonucu enerji kazanabilirler ya da kaybedebilirler. Ancak, moleküllerin tümü gözönüne alındığında, sabit sıcaklıkta *toplam enerji sabit kalır.*

Bu modelin geçerliliği sadece modele dayalı tahminlerle, gerçek deneysel sonuçlar karşılaştırılarak kanıtlanabilir. Biraz sonra göreceğimiz gibi, bu modele dayalı öngörüler çok sayıda makroskopik özellikle uyuşmaktadır.



▲ ŞEKİL 6-14
Molekül hareketinin gösterimi
Gaz molekülleri sürekli hareket ederler, birbirleriyle ve kabın çeperleri ile çarpışırlar.

Boyle Yasasının Türetilmesi

Bu kesimde, Boyle yasasına başarılı bir açıklama getiren gazların kinetik–molekül kuramını göreceğiz. Boyle yasası matematiksel olarak (6.5) eşitliği ile şöyle verilmişti:

$$PV = a$$

a nın değeri, numunedeki moleküllerin sayısına (N) ve sıcaklığa (T) bağlıdır. Basınç (6.5) eşitliğinin türetilmesine temel teşkil eden, birim yüzeye uygulanan kuvvet olduğundan, kinetik kuramda basıncın kaynağı kabın çeperine moleküllerin çarpmasından ileri gelen kuvvettir. Molekül hareketinin sadece x doğrultusunda ve duvara dik yol boyunca olduğunu varsayalım. Molekülün hızı u_x olsun. Molekülün duvara uyguladığı bu kuvvet aşağıdaki etkenlere bağlıdır.

1. Moleküllerin çarpışma *frekansı* saniyedeki çarpışma sayısıdır. Bu frekans ne kadar fazla ise çarpışmaların toplam kuvveti o kadar büyüktür. Çarpışma frekansı birim hacimdeki molekül sayısı ve molekül hızı ile artar.

   Çarpışma frekansı $\propto$ (molekül hızı) $\times$ (birim hacimdeki moleküller)

   Çarpışma frekansı $\propto (u_x) \times (N/V)$

2. *Momentum aktarımı* ya da impulsu. Bir molekül kabın duvarına çarptığında, momentum molekül geriye dönerken aktarılır. Bu momentum tranferi *impuls* olarak adlandırılır. İmpulsun büyüklüğü molekülün kütlesi (m) ve hızıyla (u) doğru orantılıdır.

   İmpuls (momentum aktarımı) $\propto$ (taneciğin kütlesi) $\times$ (molekül hızı)

   $$\text{impuls} \propto (mu_x)$$

   Bir gazın basıncı (P), momentum aktarımı ile çarpışma frekansının çarpımına eşittir. Böylece, basınca etki eden bütün bu faktörler orantılı olarak

   $$P \propto (mu_x) \times (u_x) \times (N/V) \propto (N/V)mu_x^2$$

Herhangi bir anda bütün moleküller aynı hızda hareket etmezler. Basınç, farklı hızdaki bütün moleküllerin hızlarının ortalamasına bağlı olduğundan, basınç ifadesi için hızların karelerinin ortalaması kullanılmalıdır. Böylece, yukarıdaki ifadede u_x^2 yerine, bunun ortalama değeri olan $\overline{u_x^2}$ yazılmalıdır. Hız karelerinin ortalaması kavramını daha iyi anlamak için hızları 400, 450, 525, 585 ve 600 m/s olan beş molekül düşünelim. Bu moleküllerin hızlarının karelerinin ortalaması, hızların kareleri toplanıp, tanecik sayısına bu durumda 5'e bölünerek bulunur.

◀ Miktarları gösteren simgelerin üzerindeki çizgi, herhangi bir aralıktaki değerlerin *ortalaması* anlamına gelmektedir.

$$\overline{u^2} = \frac{(400\ \text{m/s})^2 + (450\ \text{m/s})^2 + (525\ \text{m/s})^2 + (585\ \text{m/s})^2 + (600\ \text{m/s})^2}{5}$$

$$= 2{,}68 \times 10^5\ \text{m}^2/\text{s}^2$$

Böylece, basınç için orantısal ifade şu şekli alır:

$$P \propto \frac{N}{V}m\overline{u_x^2}$$

UNUTMAYINIZ

Hız kareleri ortalaması ile *ortalama hız karesi* aynı değildir. Ortalama hız = (400 + 450 + 525 + 585 + 600)/5 =512 m/s dir. Bu ortalamanın karesi yani *ortalama hız karesi* (512 m/s)^2 = 2,62 × 10^5 m^2/s^2 dir. (6.18) eşitliğinde *hız kareleri ortalamasının* kullanılması gerekir.

Son olarak bir faktörü daha, yani meleküllerin üç boyutta hareketini düşünmeliyiz. Moleküller sadece x doğrultusunda hareket etmezlerler. Buna göre, $\overline{u_x^2} = \overline{u_y^2} = \overline{u_z^2} = \frac{1}{3}\overline{u^2}$, olarak kabul edilir. Burada $\overline{u^2} = \overline{u_x^2} + \overline{u_y^2} + \overline{u_z^2}$ değeri u^2 nin ortalamasıdır. $\overline{u^2}$, hız karelerinin ortalaması olarak adlandırılır. Yukarıdaki eşitlikte $\overline{u_x^2}$ yerine $\frac{1}{3}\overline{u^2}$ alırsak $\frac{1}{3}$ orantı sayısını eşitliğe dahil etmiş oluruz. Bütün faktörler düşünüldüğünde, aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$P = \frac{1}{3}\frac{N}{V}m\overline{u^2} \qquad (6.18)$$

Bu ifade, gazların kinetik-molekül kuramı için temel eşitliktir. (6.18) eşitliğini $PV = \frac{1}{3}Nm\overline{u^2}$ şeklinde de yazabiliriz. $\overline{u^2}$ sadece sıcaklığa bağlıysa, (6.18) eşitliği aslında Boyle yasasının matematik ifadesi olur. Biz $\overline{u^2}$ nin sadece sıcaklığa bağlı olduğunu matematiksel olarak kanıtlamayacağız. Ancak, sonraki kesimde bunun doğru olduğu görülecektir. Aşağıda göreceğimiz gibi (6.18) denkleminden ilginç sonuçlar elde edeceğiz.

Molekül Hızlarının Dağılımı

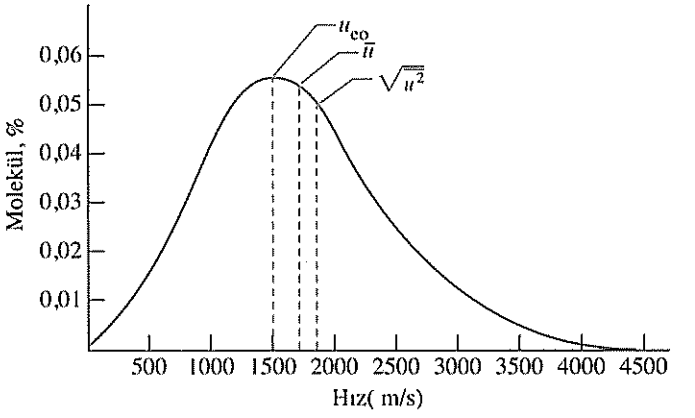
Boyle yasasının türetilmesinde belirtildiği gibi, tüm gaz molekülleri aynı hızla hareket etmezler. Moleküllerin sayısı çok fazla olduğundan, herbir molekülün hızını bilemeyiz. Fakat kaç molekülün belirli bir hıza sahip olduğunu istatistiksel olarak tahmin edebiliriz. u hızına sahip moleküllerin kesri(F) aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$F(u) = 4\pi\left(\frac{M}{2\pi RT}\right)^{3/2} u^2 e^{-(Mu^2/2RT)}$$

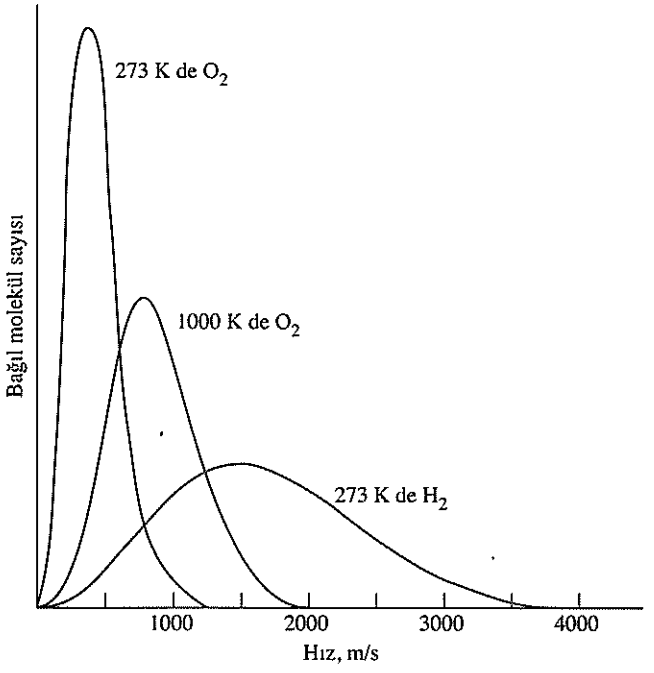
1860 da hız dağılımını türeten James Clerk Maxwell onuruna yukarıdaki eşitliğe Maxwell hız dağılımı eşitliği denmiştir. Karmaşık matematik işlemler gerektirdiğinden, biz burada Maxwell dağılımını türetmeye çalışmayacağız. Bunun yerine eşitliği olduğu gibi kabul edeceğiz ve hız dağılımının mol kütlesi ve sıcaklığa nasıl bağlı olduğunu anlamamıza yardımcı olması için kullanacağız.

▶ Maxwell kendi adıyla anılan eşitliği 1860 da türetti. Ancak, deneysel verilerle kanıtlanması 1955 yılında gerçekleşti. Molekül hızlarının dağılımının deneysel tayini sayfa 221 de verilmiştir.

Şekil 6-15 $H_2(g)$ gazının 0 °C da u değerine karşı $F(u)$ grafiğini göstermektedir. Hız dağlımı şekli basitçe doğrulanmaktadır. Dağılım birbirine zıt iki faktörün çarpımına bağlıdır. Faktörlerden biri u^2 ve diğeri üstel faktör $e^{-Mu^2/2RT}$ dir. u arttıkça u^2 de sıfırdan belirli değere artar, üstel faktör belirli değerden bire azalır. u^2 faktörü yüksek hıza sahip olan moleküllerin lehine olup, daha az sayıda molekülünde sıfıra yakın hızından sorumludur. Üstel faktör düşük hızlar lehinedir ve sınırlı sayıda molekül yüksek hıza sahip olabilir. F iki zıt etkili faktörün çarpımı olduğun-



▶ ŞEKİL 6-15
Molekül hızlarının dağılımı, 0 °C de hidrojen gazı
Hızın bir fonksiyonu olarak, belirli hızdaki moleküllerin yüzdeleri çizilmiştir. Grafikte üç farklı hız gösterimi işaretlenmiştir. En olası hız yaklaşık olarak 1500 m/s ; ortalama hız yaklaşık 1700 m/s ve hız kareleri ortalamasının karekökü ise 1800 m/s dir. $u_{eo} < \bar{u} < \sqrt{\overline{u^2}}$ olduğuna dikkat ediniz.



◀ Herbir eğrinin altındaki alan aynıdır. Eğrilerin kapsadığı molekül sayıları eşittir. T sıcaklığının artmasıyla (veya mol kütlesinin azalmasıyla), eğriler sanki lastik gibi uzamaktadırlar. Geniş bir hız aralığında, molekül sayıları aynı kalmaktadır

◀ ŞEKİL 6-16
Molekül hızlarının dağılımına-kütle ve sıcaklığın etkisi
Belirli hıza sahip moleküllerin bağıl sayıları, hızın bir fonksiyonu olarak grafiğe geçirilmiştir. Oksijen moleküllerinin dağılımına sıcaklık etkisi ve mol kütlesi etkisine dikkat ediniz. Oksijenin, hidrojenin 273 K deki hız dağılımına sahip olması için çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması gerekir.

dan, u arttıkça F sıfırdan başlayarak artar, bir maksimuma ulaşır ve azalır. Dağılımın maksimumdan iki yana simetrik olmadığına dikkat ediniz.

Şekil 6-16 da molekül hızlarının dağılımının sıcaklık ve mol kütlesine nasıl bağlı olduğu görülmektedir. Eğer $O_2(g)$ in 273 K ve 1000 K deki hız dağılımlarını karşılaştırırsak, sıcaklık arttıkça hız dağılım aralığının genişlediğini, dağılım aralığının yüksek hızlara doğru kaydığını görürüz. 273 K de $O_2(g)$ ve $H_2(g)$ nın hız dağılımları incelendiğinde, hafif gazlarda hız dağılım aralığının geniş olduğu görülür.

Biz şimdi Şekil 6- 15 de belirtilen üç karekteristik hıza odaklanalım. En olası hız ya da olası hız, u_{co} ile gösterilir. Moleküllerin çoğu bu hıza sahiptir. Ortalama hız $\bar{u}$ ile gösterilir. Hız kareleri ortalamasından ($\overline{u^2}$) bulunan **hız kareleri ortalaması karekökü** $\sqrt{\overline{u^2}}$dür. Hız kareleri ortalamasının karekökü, bundan yararlanılarak bir molekül topluluğunun ortalama kinetik enerjisi hesaplanabileceğinden, özel bir öneme sahiptir.

Her birinin kütlesi $m = M/N_A$ olan bir molekül topluluğunun ortalama kinetik enerjisi, $\frac{1}{2}mu^2$ nin ortalamasıdır.

$$\overline{e_k} = \tfrac{1}{2}m\overline{u^2}$$

$\sqrt{\overline{u^2}}$ den $(\sqrt{\overline{u^2}})^2 = \overline{u^2}$ dir ve $\overline{e_k}$ için yukarıda verilen eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\overline{e_k} = \tfrac{1}{2}m(\sqrt{\overline{u^2}})^2$$

Bu sonuç bize ortalama kinetik enerjiyi, molekül kütlesi(m) ve hız kareleri ortalamasının karekökünden hesaplayabileceğimizi gösterir. Şimdi bize gereken $\sqrt{\overline{u^2}}$ nin hesaplanması için basit bir yol bulmaktır.

(6.18) eşitliği ve ideal gaz denklemini birleştirerek, $\sqrt{\overline{u^2}}$ için bir eşitlik elde edebiliriz. 1 mol bir ideal gaz düşündüğümüzde molekül sayısı $N = N_A$ (Avogadro sayısı) olur ve ideal gaz denklemi $PV = RT$ şeklini alır ($PV = nRT$ eşitliğinde $n = 1$ mol). (6.18) eşitliğinde önce N yerine N_A koyunuz ve sonra eşitliğin her iki tarafını V ile çarpınız. Eşitlik şu hale gelir:

◀ Kinetik-molekül kuramının kabulleri geçerli olduğundan gaz, ideal gazdır.

$$PV = \frac{1}{3}N_A m\overline{u^2} \qquad \textbf{(6.19)}$$

İkinci adım olarak, PV yerine RT yazınız ve eşitliğin iki tarafını üç sayısı ile çarpınız.

$$3\,RT = N_A m\overline{u^2}$$

Şimdi, $N_A m$ çarpımı molekülün 1 molünün kütlesi olduğundan, bu çarpım yerine mol kütlesi, M yazılabilir.

$$3\,RT = M\overline{u^2}$$

Son olarak, eşitliği $\overline{u^2}$ için çözünüz ve ve her iki tarafın kare kökünü alarak, $\sqrt{\overline{u^2}}$ nü bulunuz.

$$\sqrt{\overline{u^2}} = \sqrt{\frac{3\,RT}{M}} \qquad (6.20)$$

(6.20) eşitliği bir gazın $\sqrt{\overline{u^2}}$ değerinin Kelvin sıcaklığının karekökü ile doğru, mol kütlesinin karekökü ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Bundan şu sonuçlar çıkarılabilir; (1) molekül hızları sıcaklığın artmasıyla artar ve (2) hafif gaz molekülleri ağır moleküllerden daha büyük hıza sahiptir.

Eşitlik 6.20 den hız kareleri ortalamasının karekökü hesaplanmak istendiğinde, gaz sabiti değeri,

$$R = 8{,}3145\ \text{J mol}^{-1}\ \text{K}^{-1}$$

alınmalıdır. Joule birimi kg m^2/s^2 olduğundan Örnek 6-14 de verildiği gibi mol kütlesi kg/mol biriminde kullanılmalıdır.

ÖRNEK 6–14 Hız Kareleri Ortalaması Karekökünün Hesaplanması

M-16 tüfeği ile atılan mermi mi (2180 mi/saat) yoksa 25 °C de H_2 moleküllerinin hız kareleri ortalamasının kare kökü mü daha hızlıdır?

Analiz

Bu problem (6.20) eşitliğinin basit bir uygulamasıdır. SI birimlerini kullanmalıyız: R = 8,3145 J $K^{-1}mol^{-1}$ ve $M = 2{,}016 \times 10^{-3}$ kg mol^{-1}. 1J = 1 kg m^2 s^{-2} olduğunu hatırlayınız.

Çözüm

(6.20) eşitliğini kullanarak H_2 için $\sqrt{\overline{u^2}}$ değerini bulunuz.

$$\sqrt{\overline{u^2}} = \sqrt{\frac{3 \times 8{,}3145\ \text{kg m}^2\,\text{s}^{-2}\,\text{mol}^{-1}\,\text{K}^{-1} \times 298\ \text{K}}{2.016 \times 10^{-3}\ \text{kg mol}^{-1}}}$$

$$= \sqrt{3{,}69 \times 10^6\ \text{m}^2/\text{s}^2} = 1{,}92 \times 10^3\ \text{m/s}$$

Değerlendirme

Problemin geriye kalan kısmında yapılacak iş, ya $1{,}92 \times 10^3$ m/s hızı, saatte mile (mil/saat) veya 2180 mil/saat olan hızı m/s ye çevirmektir. Daha sonra iki hızı karşılaştırabiliriz. Bunları yaptığımızda $1{,}92 \times 10^3$ m/s olan hız $4{,}29 \times 10^3$ mil/saate karşılık gelir. Bu sonuca göre, H_2 moleküllerinin 25 °C deki hız kareleri ortalamasının karekökü, gelişmiş bir tüfek mermisinin hızından daha büyüktür.

ALIŞTIRMA A: 25 °C de, NH_3(g) veya HCl(g) den hangisi daha büyük hız kareleri ortalaması karekökü sahiptir. Daha hızlı olanın $\sqrt{\overline{u^2}}$ nü hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: Hangi sıcaklıkta H_2 nin $\sqrt{\overline{u^2}}$ ile Örnek 6-14 de verilen M-16 tüfeğinin mermi hızı eşittir?

6-8 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Gerçek bir hesaplama yapmadan, hangisinin daha büyük $\sqrt{\overline{u^2}}$ değerine sahip olduğunu söyleyiniz, 1000 K deki He(g) gazı mı yoksa 250 K deki H_2(g) gazı mı?

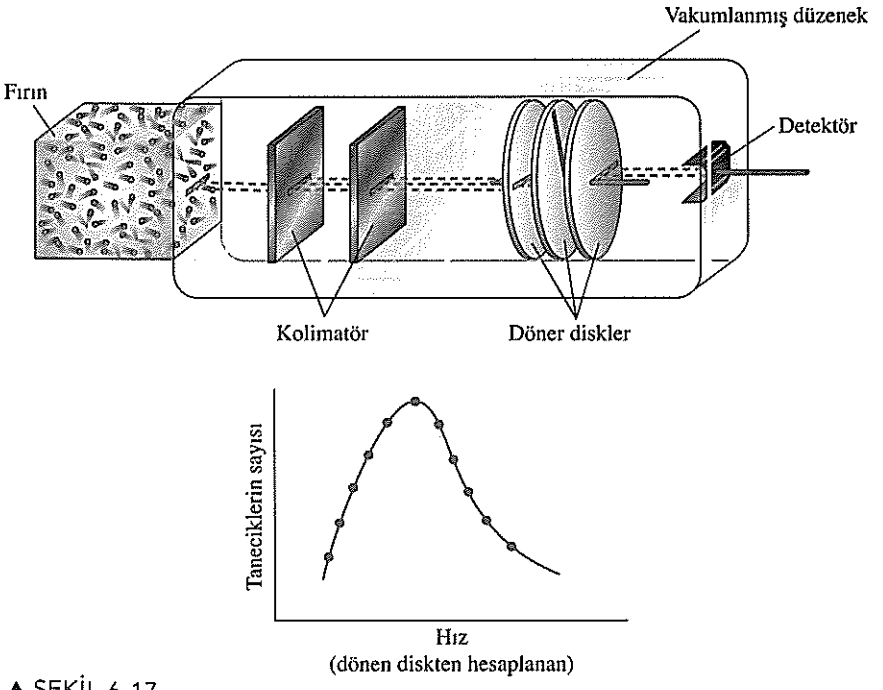
6-1 MERAK EDİYORSANIZ...

Molekül hızlarının dağılımı deneysel olarak nasıl gösterilebilir?

Moleküllerin hız dağılımı, Şekil 6-17 de gösterilen düzenek yardımıyla gösterilebilir. Fırın ve havası alınmış bir oda, üzerinde küçük bir delik olan bir duvarla birbirinden ayrılmıştır. Gaz molekülleri fırın içinde ısınır, deliğe doğru yönlenir ve bir seri yarıktan (*kolimatör*) geçerek molekül ışınına dönüşür. Işın içindeki moleküllerin sayısı, birbiriyle çarpışarak ışını bozmamaları için düşük tutulur.

Molekül ışın demeti bir seri dönen diskten geçer. Her diskin üzerinde yarıklar bulunur. Ardarda disklerdeki bu yarıklar birbirine belirli bir açıyla konumlandırılmıştır. Dönen ilk diskten geçen bir molekül, ikinci diskten molekülün hızı molekül diske vardığında ikinci yarığa ulaşacak düzeyde ise geçebilir. Böylece, belirli bir hızda dönen disklerin tamamından ancak uygun hızda moleküller geçebilir.

Disklerden geçen ve detektöre gelen moleküllerin sayısı değişik dönme hızları için kaydedilir. Her bir dönme hızındaki moleküllerin sayısı, dönme hızına karşı grafiğe geçirilir. Düzeneğin boyutlarından, diskin dönme hızı molekül hızına dönüştürülebilir ve Şekil 6-17 deki grafik elde edilebilir.



▲ ŞEKİL 6-17
Molekül hızları dağılımının deneysel tayini
Sadece uygun hıza sahip moleküller dönen diskleri geçerek sayılacakları detektöre ulaşacaklardır. Disklerin dönme hızları değiştirilerek, molekül hızlarının tam dağılımı saptanabilir.

Sıcaklığın Anlamı

1 mol gaz için yazılan ve kinetik–molekül kuramının temeli olan (6.19) eşitliğinden yola çıkarak, gazlarda sıcaklığın anlamı ile ilgili önemli bir bakış açısına ulaşabiliriz.

Bu eşitliği, $\frac{1}{3}$ kesri yerine $\frac{2}{3} \times \frac{1}{2}$ sayısını (bu sayılar birbirine eşittir) koyarak, yeniden düzenleyelim.

$$PV = \frac{1}{3} N_A \overline{mu^2} = \frac{2}{3} N_A \left(\frac{1}{2} \overline{mu^2} \right)$$

$\left(\frac{1}{2} \overline{mu^2}\right)$ nin değeri, bir molekül topluluğunun ortalama öteleme kinetik enerjisi, $\overline{e_k}$ değerini verir. PV yerine RT yazarsak şu eşitliği elde ederiz:

$$RT = \frac{2}{3} N_A \overline{e_k}$$

Sonra eşitliği $\overline{e_k}$ için çözebiliriz.

$$\overline{e_k} = \frac{3}{2} \left(\frac{RT}{N_A} \right) \qquad \textbf{(6.21)}$$

R ve N_A sabit olduğundan, (6.21) eşitliği $\overline{e_k}$ = sabit x T şeklinde basitleştirilebilir. Bu durum bizi sıcaklık ile ilgili olarak yeni bir kavrama götürür.

Bir gazın Kelvin sıcaklığı (T), o gazın moleküllerinin ortalama öteleme kinetik enerjisiyle ($\overline{e_k}$) doğru orantılıdır. **(6.22)**

Yukarıda (6.22) ile verilen ifade, farklı sıcaklıklardaki cisimler birbirleri ile temas ettiklerinde, molekül düzeyinde nasıl bir değişiklik meydana geldiğini anlamamıza da yardımcı olur. Yüksek sıcaklıktaki cismin molekülleri, ortalama olarak, soğuk cismin moleküllerinden daha yüksek kinetik enerjiye sahiptir. İki cisim birbiri ile temas ettiğinde sıcak cismin molekülleri çarpışma yoluyla kinetik enerjilerinin bir kısmını soğuk cismin moleküllerine aktarır. Bu olay, iki maddenin moleküllerinin ortalama ki-



6-2 MERAK EDİYORSANIZ...

Ulaşılabilen en düşük sıcaklık nedir?

Charles yasası mutlak sıfır sıcaklığını 0 K olarak öngörmektedir. Ancak, bu sıcaklığa ulaşabilir miyiz? Çok yakınına ulaşılsa bile yanıt hayırdır. Şimdiye kadar olan denemelerde birkaç nanokelvine! kadar varan sıcaklıklara erişildi. Bu işlem bir kısım sıcak atomun 0 K deki buzdolabına konulup soğutulması kadar basit değildir. Daha önce, gaz moleküllerinin kinetik enerjileri ile sıcaklıklarının orantılı olduğunu görmüştük. Bu yüzden, atomları soğutmak için kinetik enerjilerini uzaklaştırmalıyız. Basit bir soğutma ile istenen bu işlem gerçekleşmez, çünkü soğutucu daima soğutulan atomlardan daha düşük sıcaklıkta olmak zorundadır.

Son derece soğuk atomları elde etmenin yolu, bu atomları izledikleri yolda durdurularak kinetik enerjilerini uzaklaştırmaktır. Bu, lazer soğutma tekniği denilen bir işlemle başarılmıştır. Lazer soğutma tekniğinde, bir atom demetine doğru yönlendirilerilen lazer ışınları atomlara çarpar ve onların yavaşlamalarını sağlar. Atomlar soğutulduktan sonra, altı lazerin kesiştiği ışın kullanılarak, enerjileri daha da düşürülür. Soğuk atomlar manyetik alanda yaklaşık 1 s tuzaklanabilirler. 1995 yılında, Kolarado Universitesi'nden bir araştırma grubu bu tekniği kullanarak rubidyum (Rb) atom demetini $1{,}7 \times 10^{-7}$ K e düşürmeyi başardı. İnsanlığın ulaşabildiği en soğuk derece, 2003 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde yapılan bir çalışma ile 450 pikokelvin olarak kayda geçmiştir.*

*A. E. Leanhardt, T. A. Pasquini, M. Saba, A. Schirotzek, Y. Shin, D. Kielpinski, D. E. Pritchard, and W. Ketterle, Cooling Bose-Einstein Condensates Below 500 Picokelvin, Science 2003 vol 301, p. 1513.

netik enerjileri aynı oluncaya kadar devam eder; yani, iki maddenin sıcaklıkları eşitlenir. Ayrıca, (6.22) eşitliği mutlak sıfır sıcaklığına yeni bir bakış açısı getirir: *Mutlak sıfır sıcaklığı moleküllerin öteleme hareketinin durduğu sıcaklıktır.*

6-8 Kinetik-Molekül Kurama Bağlı Gaz Özellikleri

1500 m/s lik molekül hızı 5400 km/saat ya da 3400 mil/saate karşılık gelir. Bir gaz molekülünün çok kısa zaman aralığında uzun mesafelere ulaşabileceği düşünülse bile, gerçekte böyle değildir. Her gaz molekülü diğer gaz molekülleri ile sık sık çarpışır ve bunun sonucu yön değiştirir. Gaz molekülleri, gaz içinde bir noktadan diğerine ulaşmayı yavaşlatan zik-zaklı bir yol izler. Bununla birlikte, belirli bir yönde hareket eden gaz moleküllerinin net hızı, bu moleküllerin ortalama hızlarına bağlıdır.

Difüzyon (yayılma), rastgele molekül hareketi sonucu moleküllerin göç etmesidir. Şekil 6-18 bir kimya laboratuvarında sıkça gözlenen bir olayı görüntülemektedir. İki veya daha fazla gazın yayılması, moleküllerin karışmasıyla sonuçlanır ve kapalı bir kap içinde kısa sürede Şekil 6-19(a) da görüldüğü gibi, homojen bir karışıma dönüşür. Bununla ilgili olay, **efüzyon** gaz moleküllerinin bulundukları kaptaki küçük bir delikten kaçmasıdır. Düşünsel iki gaz karışımının efüzyonu Şekil 6-19(b) de gösterilmektedir.

Efüzyon hızı doğrudan molekül hızları ile orantılıdır. Bu, yüksek hızlı molekülerin düşük hızlı moleküllerden daha hızlı füzlenmesi demektir. Aynı sıcaklık ve basınçta iki farklı gazın efüzlendiğini düşünelim. Önce efüzyon hızlarını, hız kareleri ortalamasının karekökü ile kıyaslar ve sonra (6.20) bağıntısında bu hızları yerine koyabiliriz.

$$\frac{\text{A'nın efüzyon hızı}}{\text{B'nin efüzyon hızı}} = \frac{(\sqrt{\overline{u^2}})_A}{(\sqrt{\overline{u^2}})_B} = \sqrt{\frac{3\,RT/M_A}{3\,RT/M_B}} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} \qquad (6.23)$$

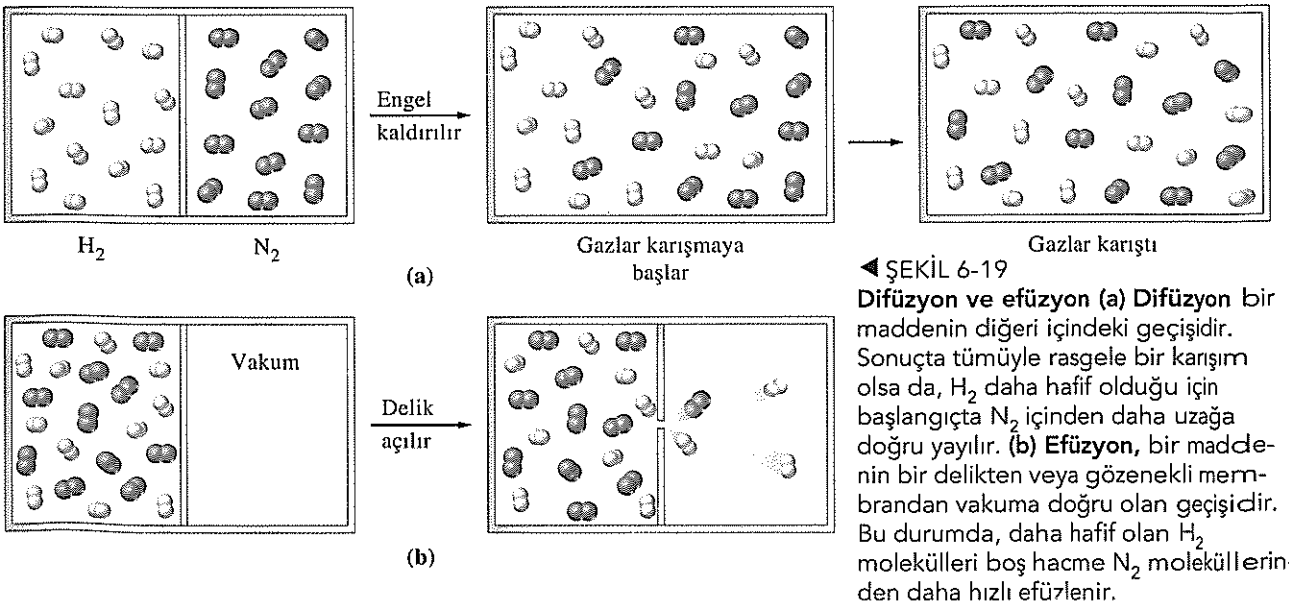
Eşitlik 6.23 bağıntısında, iki hız oranlandığında birimler birbirini götürdüğünden, efüzyon hızını ifade etmek için uygun birimler (örneğin, g/s, mol/dakika) kullanılabilir. (6.23) bağıntısında gösterilen sonuç, ondokuzuncu yüzyılda bulunmuştur ve **Graham Yasası** diye adlandırılan bir kinetik kuramdır.



▲ ŞEKİL 6-18
$NH_3(g)$ ve HCl(g) difüzyonu Resimde amonyum hidroksit olarak etiketlenmiş olan sulu amonyak, NH_3(suda), çözeltisinden $NH_3(g)$ yayılmakta ve sulu hidroklorik asit HCl(suda) çözeltisinden de HCl(g) yayılmaktadır. Bu iki gaz birbirine doğru yayılır ve karşılaşınca beyaz duman şeklinde amonyum klorür oluşur:

$$NH_3(g) + HCl(g) \longrightarrow NH_4Cl(k).$$

NH_3 molekülleri HCl den daha büyük ortalama hıza sahip olduğundan, molekülleri daha hızlı difüzlenirler. Bunun sonucunda $NH_4Cl(k)$ bulutu, HCl şişesinin ağzına daha yakın bir yerde oluşur.



◀ ŞEKİL 6-19
Difüzyon ve efüzyon (a) Difüzyon bir maddenin diğeri içindeki geçişidir. Sonuçta tümüyle rasgele bir karışım olsa da, H_2 daha hafif olduğu için başlangıçta N_2 içinden daha uzağa doğru yayılır. **(b) Efüzyon,** bir maddenin bir delikten veya gözenekli membrandan vakuma doğru olan geçişidir. Bu durumda, daha hafif olan H_2 molekülleri boş hacme N_2 moleküllerinden daha hızlı efüzlenir.

Bir gazın efüzyon hızı mol kütlesinin karekökü ile ters orantılıdır. (6.24)

Graham yasası farkında olmanız gereken bazı önemli sınırlamalara sahiptir. Efüzyon tanımı sadece düşük basınçlar için kullanılabilir, gaz basıncı moleküllerin bağımsız olarak kaçışına olanak sağlayacak şekilde, yani fışkırmayacak biçimde çok küçük olmalıdır. Delikler moleküller geçerken çarpışma olmayacak kadar küçük olmalıdır. Graham 1831 de kuramını gazların difüzyonunu açıklamak için ileri sürmüştür, fakat gerçekte difüzyona uygulanamaz. Difüzlenen gaz molekülleri birbiriyle ve yayıldığı ortamdaki gaz ile çarpışmaya uğrarlar. Bazı hareketler net akışa ters yönde gerçekleşir. Herşeye rağmen, difüzyon gerçekleşir ve küçük mol kütlesine sahip olan gazlar büyük olanlardan daha hızlı difüzlenirler. Bu nedenle Graham yasasını, difüzyon hızları hakkında nicel bilgiler edinmek için kullanamayız.

Aynı sıcaklıkta kıyaslandığında, iki farklı gaz aynı $\overline{e_k} = \frac{1}{2}m\overline{u^2}$ değerine sahiptir. Bu, düşük kütleli (m) moleküllerin daha hızlı ($\sqrt{\overline{u^2}}$) olduğu anlamına gelir. Yukarıdaki kısıtlamalar altında (6.23) bağıntısını kullanarak, iki gazdan daha hafif olanının ağır olandan daha hızlı efüzlendiği, hafif olanını daha kısa sürede efüzlendiğini ve daha uzağa yayılabildiğini vb. çıkarabiliriz. Efüzyonda bu farklı bakış açılarını anlamak için, eşitlikte değişiklikler yapmak gerekmektedir. Bunun etkin bir yolu, her durumda efüzyon hızı, zaman, uzaklık ve benzerlerinin oranını, mol kütleleri oranlarının kareköküne eşit olduğunu bilmektir (6.25).

$$\left.\begin{array}{l}\text{molekül hızlarının}\\ \text{efüzyon hızlarının}\\ \text{efüzyon süresinin}\\ \text{moleküllerin aldığı yolların}\\ \text{efüzlenen gaz miktarlarının}\end{array}\right\}\text{oranı} = \sqrt{\text{iki mol kütlesinin oranı}} \qquad (6.25)$$

(6.25) bağıntısının kullanılmasının birinci nedeni, özelliklerin oranının birden büyük ya da küçük olduğunu nitel olarak görmektir. Sonra, buna bağlı olarak mol kütlelerinin oranı yazılır. Örnek 6-15 ve 6-16 bu durumları açıklamaktadır.

6-9 KAVRAM DEĞERLENDİRME

STP de 1,0 H_2(g) ve 0,50 mol He(g) karşılaştırıldığında, hangi cevap ya da cevaplar doğrudur? **(a)** Ortalama kinetik enerjileri eşittir **(b)** her ikisininde hız kareleri ortalamasının kare kökü eşittir **(c)** her ikisininde kütleleri eşittir **(d)** her ikisininde hacimleri eşittir **(e)** her ikisininde yoğunlukları eşittir **(f)** her ikisininde aynı delikten efüzyon hızları eşittir.

Difüzyon ile İlgili Uygulamalar

Gazların birbiri içinde yayılmasının birçok pratik uygulaması vardır. Doğal gaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kokusuzdur ve ticari olarak çok az miktarda organik sülfür bileşiği (metil merkaptan, CH_3SH, gazı) katkısı yapılarak kullanılır. Merkaptan kokulu bir bileşik olduğundan milyonda bir kısım (ppm) oranında bile olsa hemen anlaşılabilir. Tehlikeli patlamalara neden olabilecek bir kaçak olduğunda, bu kokunun yayılması uyarıcı bir görev görür.

İkinci Dünya Savaşı sırasında Manhattan Projesi çerçevesinde(atom bombası geliştirmek için gizli ABD proğramı) ^{235}U izotopu'nu ^{238}U izotopundan ayırmak için geliştirilen yöntemlerden biri de, gazların difüzyonuna dayanmaktadır. Bu yöntem şimdi de nükleer santrallerde ^{235}U bakımından zenginleştirilmiş yakıt için kullanılmaktadır. Normal sıcaklıklarda uranyumun gaz halinde elde edilebilen birkaç bileşiğinden biri de uranyum heksaflorürdür(UF_6). Yüksek basınçlı UF_6 (g) santimetrekarede

ÖRNEK 6-15 Bir Delikten Efüzlenen Gaz Miktarlarının Karşılaştırılması

$2{,}2 \times 10^{-4}$ mol $N_2(g)$ küçük bir delikten 105 saniyede efüzlenmektedir. Aynı delikten 105 saniyede ne kadar $H_2(g)$ efüzlenir?

Analiz

Önce soruyu nitel olarak değerlendirelim. H_2 molekülleri N_2 moleküllerinden daha hafiftir. Buna göre, gazlar aynı sıcaklıkta karşılaştırıldığında H_2 molekülleri daha büyük hızla efüzlenecektir. Oranı oluşturmadan önce

$$\frac{\text{efüzlenen } H_2 \text{ molü}}{\text{efüzlenen } N_2 \text{ molü}}$$

(mol kütleleri oranına)$^{1/2}$ eşittir ve mol kütleleri oranının 1 *den büyük* olduğundan emin olmalıyız.

Çözüm

$$\frac{?\text{ mol } H_2}{2{,}2 \times 10^{-4}\text{ mol } N_2} = \sqrt{\frac{M_{N_2}}{M_{H_2}}} = \sqrt{\frac{28{,}014}{2{,}016}} = 3{,}728$$

$$?\text{ mol } H_2 = 3{,}728 \times 2{,}2 \times 10^{-4} = 8{,}2 \times 10^{-4}\text{ mol } H_2$$

Değerlendirme

Biz eşitliği çözmeden önce de sonucu tahmin edebilirdik. Zira mol kütleleri oranı yaklaşık olarak 14 ve dolayısıyla hızların oranı yaklaşık $\sqrt{14}$ olduğundan gazların efüzlenme oranı da 4 den çok az küçük olur. Bu nedenle H_2 yaklaşık olarak N_2 nin 4 katı daha hızlı efüzlenir. Yani, 4 kat daha fazla H_2 molekülü efüzlenir.

ALIŞTIRMA A: Örnek 6-15 de, aynı delikten 105 s de ne kadar $O_2(g)$ efüzlenir?

ALIŞTIRMA B: Örnek 6-15 de $2{,}2 \times 10^{-4}$ mol N_2 gazının efüzlendiği delikten $2{,}2 \times 10^{-4}$ mol H_2 gazı ne kadar sürede efüzlenir?

ÖRNEK 6-16 Efüzlenme Sürelerinin Mol Kütleleri ile İlişkisi

Küçük bir delikten bir Kr (g) örneği 87,3 s de efüzlenir ve aynı koşullarda bilinmeyen bir gaz için bu süre 42,9 s dir. Bilinmeyen gazın mol kütlesi nedir?

Analiz

Yine soruya önce nitel olarak bakalım. Bilinmeyen gaz daha hızlı efüzlendiğine göre, mol kütlesi Kr dan daha küçüktür. Aşağıdaki düzenlemede mol kütleleri oranı *1 den küçük* olmalıdır. M_x bilinmeyenin mol kütlesi olsun.

$$\frac{\text{Bilinmeyenin efüzlenme süresi}}{\text{Kr un efüzlenme süresi}}$$

yukarıdaki ifade $\sqrt{\text{mol kütleleri oranı}}$ değerine eşittir. Mol kütleleri oranının 1 den küçük olduğundan emin olmalıyız. Mol kütlelerini yazarken ilk önce mol kütlesi hafif olan gazı (bilinmeyen) yazmalıyız.

Çözüm

$$\frac{\text{Bilinmeyenin efüzlenme süresi}}{\text{Kr un efüzlenme süresi}} = \frac{42{,}9\text{ s}}{87{,}3\text{ s}} = \sqrt{\frac{M_x}{M_{Kr}}} = 0{,}491$$

$$M_x = (0{,}491)^2 \times M_{Kr} = (0{,}491)^2 \times 83{,}80 = 20{,}2\text{ g/mol}$$

Değerlendirme

Elde ettiğimiz sonucu kullanarak, geriye doğru yorumlayınız. Bilinmeyenin mol kütlesi Kr dan 4 kez kadar küçüktür. Zira bilinmeyenin *efüzlenme hızı* $\propto 1/\sqrt{M}$ olduğundan, bilinmeyen gazın efüzlenmesi Kr un efüzlenmesinden $\sqrt{4} = 2$ kat daha hızlı olacaktır.

ALIŞTIRMA A: Örnek 6-16 daki koşullar altında, bilinmeyen bir gazın efüzlenmesi için gereken süre 131,3 s dir. Bu bilinmeyen gazın mol kütlesi nedir?

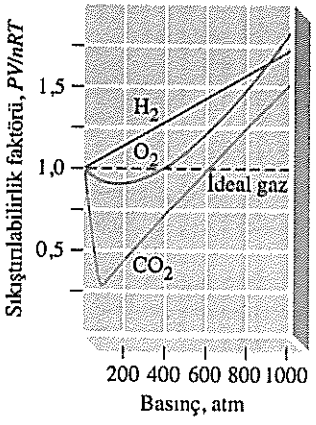
ALIŞTIRMA B: Örnek 6-16 daki koşullarda, bir etan, C_2H_6, gazı örneğinin efüzlenmesi için gereken süre ne kadardır?

milyonlarca mikroskopik gözenek bulunduran bir engelden geçmeğe zorlandığında, ^{235}U izotopu içeren moleküller ^{238}U içerenlerden, (6.25) ifadesinde öngörüldüğü gibi biraz daha hızlı geçer. Engeli geçen UF_6 (g) içerisindeki ^{235}U / ^{238}U oranı biraz daha büyüktür. Böylece, bu gaz ^{235}U bakımından zenginleştirilmiş olur. Bu az orandaki zengileştirme binlerce defa tekrarlandığında yüksek oranda ^{235}U içeren ürün elde edilmiş olur.

6-9 İdeal Olmayan (Gerçek) Gazlar

Çizelge 6.2 de verilen değerler gerçek gazların "ideal" olmadıklarını açıkça kanıtlamaktadır. İdeal gaz bağıntısı tanıtılırken gerçek gazların da uygun koşullarda ideal gaz yasasına uyduğu belirtilmişti. Gerçek gazların hangi koşullarda ideal ya da ideale yakın olduğundan, ideal gaz olarak davranmadıklarında hangi değerlendirmelerin yapılabileceğinden kısaca sözedelim. Bir gazın ideal gaz koşulundan ne kadar saptığının ölçüsü *sıkıştırılabilirlik faktörü* ile belirlenir. Bir gazın sıkıştırılabilirlik faktörü PV/nRT oranıdır. İdeal gaz bağıntısından ($PV = nRT$), bir ideal gaz için bu oranın $PV/nRT = 1$ olduğunu görüyoruz. Gerçek bir gaz için, sıkıştırılabilirlik faktörü önemli ölçüde 1 den farklıdır. Değişik gazların 300 K ve 10 bar da sıkıştırılabilirlik faktörü değerleri Çizelge 6.5 de verilmiştir. 300 K ve 10 bar da He, H_2, CO, N_2 ve O_2 oldukça ideale yakın davranırken ($PV/nRT \approx 1$), NH_3 ve SF_6 idealden sapar ($PV/nRT \approx 0{,}88$). Şekil 6-20 de üç farklı gaz için sıkıştırılabilirlik faktörü basıncın fonksiyonu olarak çizilmiştir. Bu şekilden çıkarılabilecek olan temel sonuç, bütün gazlar yeterince düşük basınçlarda (1 atm den düşük) ideal davranırlar; fakat artan basınçlarda ideallikden saparlar. Çok yüksek basınçlarda ise sıkıştırılabilirlik faktörü daima 1 den büyüktür.

Gerçek gazların davranışı şöyle açıklanabilir: Boyle yasasına göre, çok yüksek basınçlarda gaz hacmi çok küçüktür ve sıfıra yaklaşır. Ancak, ger-



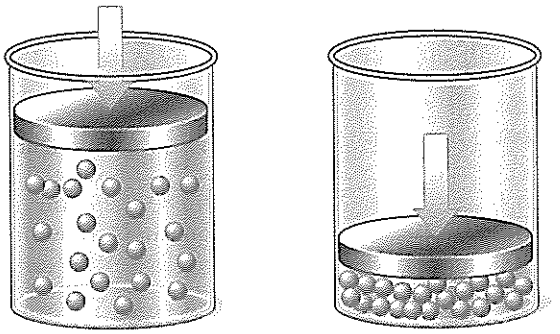
▲ ŞEKİL 6-20
Gerçek gazların davranışı, 0°C de basıncın fonksiyonu olarak sıkıştırılabilirlik faktörü
Sıkıştırılabilirlik faktörünün 1 den küçük değerlerde oluşu ideal gaz davranışından sapmaların büyük ölçüde moleküller arası çekim kuvvetinden kaynaklandığını gösterir. Sıkıştırılabilirlik faktörünün 1 den büyük olması ise, gaz molekülü hacimlerinin toplam gaz hacmi yanında önemli bir büyüklükte olduğunu gösterir.

ÇİZELGE 6.5 10 bar ve 300 K'de Değişik Gazların van der Waals sabitleri ve Sıkıştırılabilirlik Faktörleri

Gaz	van der Waals Sabitleri		Sıkıştırılabilirlik Faktörü
	a, bar L^2 mol^{-2}	b, L mol^{-1}	
H_2	0,2452	0,0265	1,006
He	0,0346	0,0238	1,005
İdeal gaz	0	0	1
N_2	1,370	0,0387	0,998
CO	1,472	0,0395	0,997
O_2	1,382	0,0319	0,994
CH_4	2,303	0,0431	0,983
NF_3	3,58	0,0545	0,965
CO_2	3,658	0,0429	0,950
N_2O	3,852	0,0444	0,945
C_2H_6	5,580	0,0651	0,922
NH_3	4,225	0,0371	0,887
SF_6	5,580	0,0651	0,880
C_3H_8	9,39	0,0905	a
SO_2	7,857	0,0879	a

Kaynak: van der Waals sabitleri, "CRC Handbook of Chemistry and Physics, 83rd ed., David R. Lide (ed.)., B°Ca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2002" den alınmıştır. Sıkıştırılabilirlik faktörleri "National Institute of Standards and Technology(NIST) Chemistry WebBook(http://webbook.nist.gov/chemistry/.)" verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

[a]10 bar ve 300 K de, C_3H_8 ve SO_2 sıvıdır.

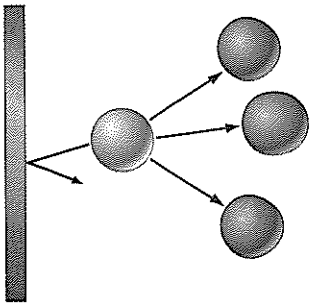


(a) (b)

▲ ŞEKİL 6-21
Molekül büyüklüğünün etkisi
(a) kabın önemli bir kısmı boşluktur ve gaz daha küçük bir hacme skıştırılabilir. **(b)** moleküller doldurulabilecek boşluğun büyük bir kısmını doldurmuştur ve geriye çok az bir boşluk kalmıştır.

çek gazlarda moleküllerin kendilerinin de bir hacmi vardır ve Şekil 6-21 de gösterildiği gibi, bu hacim bastırılamaz. Bu nedenle, PV değeri ideal gaz için beklenenden daha büyük olup sıkıştırılabilirlik faktörü 1 den büyük olur. Gazlarda moleküller arası kuvvetlerin varlığı gerçeğini kabul etmeliyiz. Şekil 6-22 moleküller arası çekim kuvvetlerinden dolayı gaz moleküllerinin kabın çeperleriyle çarpışma kuvvetinin, ideal gazdan beklenenden az olduğunu göstermektedir. Moleküller arası çekim kuvvetleri sıkıştırılabilirlik faktörünün birden küçük olmasına neden olur. Bu kuvvetler, moleküllerin öteleme hareketinin yavaşladığı düşük sıcaklıklarda artan bir öneme sahiptir. Özetle,

- Gerçek gazlar *yüksek sıcaklık* ve *düşük basınçlarda idealliğe yaklaşırlar.*
- Gerçek gazlar *düşük sıcaklık* ve *yüksek basınçlarda ideallikten uzaklaşırlar.*



▲ ŞEKİL 6-22
Moleküller arası çekim kuvvetleri
Kırmızı moleküllerin yeşil moleküle uyguladığı çekim kuvveti, kabın duvarına çarptığında uygulayacağı kuvveti azaltır.

van der Waals Eşitliği

Gerçek gazlar için birçok eşitlik kullanılabilir. Bu eşitlikler ideal gazlardan daha geniş sıcaklık ve basınç aralığında uygulanabilirler. Bu tür eşitlikler ideal gaz denklemi gibi genel bir denklem değildirler. Aşağı yukarı her gaz için özel terimler içerirler. Bu tür eşitlikler moleküllerin öz hacimlerine ve moleküller arası kuvvetlere bağlı düzeltme terimleri taşırlar. Gerçek gazların davranışını göstermek üzere, kimyacıların kullandığı eşitlikler arasında kullanımı en basit ve en uygun olan eşitlik, **van der Waals eşitliğidir** (6.26).

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \qquad \textbf{(6.26)}$$

◀ van der Waals eşitliği gazların gözlenen davranışlarına orta doğrulukta uyar. Bu eşitlik dipol momenti küçük, küresel şekle yakın gazlarda daha doğru sonuçlar verir. Molekül şekilleri ve dipol momentleri Bölüm 10 da göreceğiz.

Bu eşitlik Çizelge 6.5 de gösterildiği gibi, değerleri molekülden moleküle değişen a ve b diye iki sabit içerir.

van der Waals eşitliği ve ideal gaz eşitliği, herikiside *basınç faktörü x hacim faktörü* = nRT şeklindedir. van der Waals eşitliğinde basınç faktörü P değil, onun biraz değiştirilmiş şekli olan $P + an^2/V^2$ dir. Hacim faktörü ise V yerine V-nb dir. Bu hacim faktöründeki nb terimi moleküllerin gerçek hacmine bağlıdır. b sabiti, *mol başına bastırılamayan hacim*dir ve kaba bir yaklaşımla, bir mol gaz sıvılaştığında kaplayacağı hacme eşittir. Moleküller noktasal kütlelere sahip değillerdir. Moleküllerin bulunduğu kap nb den küçük olamaz ve moleküllerin hareket edebileceği uygun

hacim V - nb dir. Şekil 6-21(b) den anlaşılabileceği gibi, yüksek basınçlarda molekül hareketleri için uygun hacim oldukça küçüktür.

Değiştirilmiş basınç faktöründeki an^2/V^2 teriminin önemini anlamamıza, (6.26) eşitliğinin P ye göre çözümü yardımcı olacaktır.

$$P = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{an^2}{V^2}$$

Verilen V değeri çok küçük değilse, yukarıdaki eşitlikte ilk terim yerine ideal gaz eşitliğindeki P değeri alınabilir: $nRT/(V\text{-}nb) \approx nRT/V = P_{ideal}$. Yukarıda P değeri için verilen eşitlik, gerçek gaz basıncının ideal gaz basıncından daha az olacağını göstermektedir. Bunun nedeni Şekil 6-22 den görülebilir: Kabın duvarlarına yakın moleküller üzerine, arkasındaki moleküller tarafından uygulanan çekim kuvvetleri, bu moleküllerin kabın duvarlarına daha az kuvvet uygulamasına neden olur. an^2/V^2 terimi moleküller arası çekimden ileri gelen basınç düşmesini belirtir. 1873 yılında Hollandalı fizikçi Johannes van der Waals, basınç düşmesinin moleküller arası çekim kuvvetlerinden ileri gelebileceğini ve derişimin karesi ile orantılı olacağını düşünmüş; bu basınç düşmesini an^2/V^2 terimiyle ifade etmiştir. Burada orantı katsayısı, a, moleküllerin birbirini ne kadar güçlü çektiklerinin bir göstergesidir.

▶ Bölüm 12 de moleküller arası çekim kuvvetlerini daha ayrıntılı inceleyecek ve neden molekül boyutu büyüdükçe bu kuvvetlerin daha güçlü olduğunu belirteceğiz.

Çizelge 6.5 den görüleceği üzere, molekül büyüklüğü arttıkça a ve b değerlerinin her ikisi de artar. a ve b değerleri küçüldükçe, gazlar ideal gaza yaklaşır. İdeallikten sapmanın ölçüsü sıkışabilirliktir. Bu, aynı zamanda a ve b değerlerinin artması şeklinde ifade edilir. Örnek 6.17 de gerçek gazın basıncı van der Waals eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Ancak bu eşitliği n veya V için çözmek daha zordur (Alıştırma 121 e bakınız).

ÖRNEK 6-17 Gaz Basıncının van der Waals Denklemiyle Hesaplanması

1,00 mol $Cl_2(g)$ 273 K de 2,00 L lik bir hacim kaplıyor. Basıncı van der Waals denklemini kullanarak hesaplayınız. a = 6,49 L^2 atm mol^{-2} ve b = 0,0562 L mol^{-1}.

Analiz

Bu problem eşitlik 6.26 nın basit bir uygulamasıdır. Birimlerin birbirini götürdüğünden emin olmak için, tüm birimlerin uygun bir şekilde yazılması önemlidir.

Çözüm

(6.26) eşitliğini P için çözünüz.

$$P = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{n^2a}{V^2}$$

Aşağıdaki değerleri eşitlikte yerine koyunuz.

$$n = 1{,}00\text{ mol}; V = 2{,}00\text{ L}; T = 273\text{ K}; R = 0{,}08206\text{ atm L mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

$$n^2a = (1{,}00)^2\text{ mol}^2 \times 6{,}49\frac{\text{L}^2\text{ atm}}{\text{mol}^2} = 6{,}49\text{ L}^2\text{ atm}$$

$$nb = 1{,}00\text{ mol} \times 0{,}0562\text{ L mol}^{-1} = 0{,}0562\text{ L}$$

$$P = \frac{1{,}00\text{ mol} \times 0{,}08206\text{ atm L mol}^{-1}\text{ K}^{-1} \times 273\text{ K}}{(2{,}00 - 0{,}0562)\text{L}} - \frac{6{,}49\text{ L}^2\text{ atm}}{(2{,}00)^2\text{ L}^2}$$

$$P = 11{,}5\text{ atm} - 1{,}62\text{ atm} = 9{,}9\text{ atm}$$

Değerlendirme

İdeal gaz denkleminden hesaplanan basınç 11,2 atm dir. Sadece b terimini alarak van der Waals eşitliğinden 11,5 atm basınç değerini buluruz. a terimi de hesaba katıldığında basınç 1,62 atm daha iner. Bu problemin verilen koşulları altında, ideal davranıştan sapmanın ana nedeni moleküller arası çekim kuvvetidir. Burada ideallikten sapma oldukça büyük olmakla birlikte, genellikle ideal gaz denkleminin yeterli sonuçlar vereceğini kabul edebiliriz.

ALIŞTIRMA A: Örnek 6-17 deki $Cl_2(g)$ yerine $CO_2(g)$ alınız. CO_2 için $a = 3{,}66 g\ L^2\ bar\ mol^{-2}$, $b = 0{,}0427\ L\ mol^{-1}$ dir. CO_2 ve Cl_2 dan hangisi ideallikten daha fazla sapar? [*İpucu*: İdeal gaz denklemi ve van der Waals denklemi ile hesaplanan basınçlar arasındaki fark hangi gazda daha fazladır?]

ALIŞTIRMA B: Örnek 6-20 deki $Cl_2(g)$ yerine $CO(g)$ alınız: CO için $a = 1{,}47\ L^2\ bar\ mol^{-2}$ ve $b = 0{,}0399\ L\ mol^{-1}$ dir. Alıştırma 6-17A daki CO_2 i de dahil edersek, Cl_2, CO_2 ve CO gazlarından hangisi, ideal gaz davranışından en fazla sapar?

6-10 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki üç gazın 20,0 °C ve 1 atm de ölçülen yoğunlukları: O_2 için 1,331 g/L; OF_2 için 2,26 g/L; NO için 1,249 g/L dir. Bu gazları ideal gaz denklemine uymaları artışına göre sıralayınız [*İpucu*: Hangi özelliği hesaplayabilirsiniz ve bunu bilinen bir değer ile karşılaştırabilirsiniz?]

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Yerküremizi bir örtü şeklinde saran atmosferimiz bizi sadece tehlikeli ışımalardan korumaz, aynı zamanda yaşam için gerekli olan suyun okyanuslardan karalara taşınmasında önemli bir rol oynar. Dünya atmosferinin katmanları ve bileşimini tartışmak için bakınız: Focus On feature for Chapter 6 on the MasteringChemistry site.

Özet

6-1 Gazların Özellikleri: Gaz Basıncı—Bir gaz; **basınç**, sıcaklık, hacim ve miktara göre tanımlanır. Gaz basıncı, genellikle bir cıva sütununun uyguladığı basınç ile karşılaştırılarak ölçülür (eşitlik 6.2). Bir **barometre**de cıva sütunun gösterdiği basınç **barometre basıncı**, genellikle atmosfer basıncı olarak adlandırılır (Şekil 6-4). Diğer gaz basınçları bir **manometre** ile ölçülür (Şekil 6-5). Basınç çeşitli birimlerle ifade ifade edilebilir. Bunlara basıncın SI birimi olan **paskal** ve **kilopaskal** da dahildir(Çizelge 6.1). Yaygın olarak **bar; milimetre civa (mmHg); torr (Torr)** (1torr = 1 mmHg) **ve atmosferde (atm)**, (1 atm = 760 mm Hg = 760 torr) kullanılır.

6-2 Basit Gaz Yasaları— En bilinen basit gaz yasaları şunlardır: gaz basıncı ile hacmini ilişkilendiren **Boyle yasası** (eşitlik 6.5, Şekil 6-6), gaz hacmi ile sıcaklığı ilişkilendiren **Charles yasası** (eşitlik 6.8, Şekil 6-7) ve hacim ile gaz miktarını ilişkilendiren **Avogadro yasasıdır**. Basit gaz yasalarından elde edilen bazı önemli fikirler: **Kelvin (mutlak)** sıcaklık eşeli (eşitlik 6.6), sıcaklık ve basınç ile ilgili **standart koşullar (STP)**, ve STP de bir gazın molar hacmi 22,7 L/moldür (tanım 6.10).

6-3 Gaz Yasalarının Birleştirilmesi: İdeal Gaz Denklemi ve Genel Gaz Denklemi—Basit gaz yasaları, **ideal gaz denklemi** [$PV = nRT$ (eşitlik 6.11)] eldesi için bir araya getirilebilir. Bu eşitlikte, R *ye* **gaz sabiti** adı verilir. Bu eşitliğe uyan gaza, **ideal gaz** ya da **mükemmel gaz** denir. İdeal gaz eşitliği, diğer değişkenler bilindiğinde herhangi bir değişken için çözülebilir. **Genel gaz denklemi** (eşitlik 6.12) ideal gaz denkleminin daha kullanışlı değiştirilmiş bir hali olup, bazı değişkenler sabit tutulup diğerlerinin değiştirildiği durumlarda, gaz davranışlarını açıklamakta kullanılır.

6-4 İdeal Gaz Denkleminin Uygulamaları— İdeal gaz denkleminin, mol kütlesi (eşitlik 6.13) ve gaz yoğunluğu (eşitlik 6.14) tayini gibi önemli uygulamaları vardır.

6.5 Kimyasal Tepkimelerde Gazlar— Sabit basınç ve sıcaklıktaki bir gazın miktarı hacmine bağlı olduğundan, ideal gaz denklemi gaz içeren tepkimelerin stokiyometrik hesaplamalarında sık sık kullanılır. Sabit sıcaklık ve basınçta ölçülen iki gaz tepken ve / veya ürünün hesabında genellikle **birleşik hacimler yasası** kullanılır.

6.6 Gaz Karışımları—İdeal gaz denklemi, saf gazlar için olduğu kadar, ideal gazların karışımı içinde kullanılır. **Dalton un kısmi basınçlar yasasına** göre, bir gaz karışımındaki gazların her biri, bulundukları kapta tek başınaymış gibi genleşir ve yine tek başınaymış gibi basınç uygularlar (Şekil 6-12). Toplam basınç, her bir gazın **kısmi basınçlarının** toplamıdır (eşitlik 6.16). Gaz karışımındaki her bir gazın katkısını gösteren **mol kesri** (eşitlik 6.17) kullanışlı bir kavramdır. Çok bilinen, gazların su üzerinde toplanması (Şekil 6-13) işleminde, su üstünde toplanan gaz su buharı ile karışmış durumdadır.

6.7 Gazların Kinetik-Molekül Kuramı— **Gazların kinetik-molekül kuramından** temel bir eşitlik(6.18) elde edilir. Moleküllerin **hız kareleri ortalaması kare kökü** ($\sqrt{\overline{u^2}}$), sıcaklık, gazın mol kütlesi (eşitlik 6.20) ve ortalama molekül öteleme kinetik enerjisi, Kelvin sıcaklığı (eşitlik 6.21) ile ilgili diğer bağıntılar bu temel eşitlikten türetilir. Kinetik–molekül kuramının önemli bir kavramı da, molekül hız dağılımı kavramıdır (Şekil 6-15 ve 6-16).

6.8 Kinetik–Molekül Kuramına Bağlı Gaz Özellikleri—Gazların **difüzyon** ve **efüzyonu** (Şekil 6-19) kinetik-molekül kuramına göre açıklanabilir. **Graham yasası** olarak bilinen yaklaşım ile gazların efüzyon hızları (eşitlik 6.23) ölçülerek mol kütleleri tayin edilebilir.

6.9 İdeal Olmayan (Gerçek) Gazlar— Molekül büyüklüğü ve moleküller arası çekim kuvveti (Şekil 6-21 ve 6-22) nedeniyle, gerçek gazlar ancak yüksek sıcaklık ve düşük basınçlarda ideal gaz gibi davranırlar. Gazların ideallikten çok saptığı ve ideal gaz denkleminin çalışmadığı durumlarda **van der Waals eşitliği** (eşitlik 6.26) gibi eşitlikler kullanılır.

Pekiştirici Örnek

Gaz halindeki 1,110 g lık bir hidrokarbon yandığında yalnızca 3,613 g CO_2 ve 1,09 g H_2O veriyor. Hidrokarbonun 0,288 gramı, 24,8 °C ve 753 mmHg de 131 mL hacim kaplıyor. Bu veriler ışığında hidrokarbonun olası yapı formülünü yazınız.

Analiz

Yanma verilerini ve sayfa 83 deki Örnek 3-6 da anlatılan yöntemi kullanarak hidrokarbonun kaba formülünü bulunuz. (6.13) eşitliğinde, verilen P, V, T verilerini yerine koyunuz. Hidrokarbonun mol kütlesini ve buradan molekül kütlesini hesaplayınız. Kaba formülün kütlesi ile molekül kütlesini karşılaştırınız. Molekül formülünü bulmayı deneyiniz. Şimdi molekül formulü ile uyumlu yapı formülünü yazınız.

Çözüm

1,110 g hidrokarbonun yanmasından oluşan CO_2 ve H_2O kütlelerinden C ve H in mol sayılarını hesaplayınız.

$$?\text{mol C} = 3{,}613\ \text{g CO}_2 \times \frac{1\ \text{mol CO}_2}{44{,}01\ \text{g CO}_2} \times \frac{1\ \text{mol C}}{1\ \text{mol CO}_2} = 0{,}08209\ \text{mol C}$$

$$?\text{mol H} = 1{,}109\ \text{g H}_2\text{O} \times \frac{1\ \text{mol H}_2\text{O}}{18{,}02\ \text{g H}_2\text{O}} \times \frac{2\ \text{mol H}}{1\ \text{mol H}_2\text{O}} = 0{,}1231\ \text{mol H}$$

Formülde geçici mol sayılarını kullanınız.

$$C_{0{,}08209}H_{0{,}1231}$$

Kaba formülü elde etmek için geçici iki sayıyı küçük olana bölünüz.

$$C_{\frac{0{,}08209}{0{,}08209}}H_{\frac{0{,}1231}{0{,}08209}}$$

$$CH_{1{,}500} = C_2H_3$$

Mol kütlesi tayini için (6.13) eşitliğinin yeniden düzenlenmiş şeklini kullanınız.

$$M = \frac{mRT}{PV} = \frac{0{,}288\ \text{g} \times 0{,}08206\ \text{atm L K}^{-1}\ \text{mol}^{-1} \times (24{,}8 + 273{,}2)\ \text{K}}{(753\ \text{mmHg} \times 1\ \text{atm}/760\ \text{mmHg}) \times 0{,}131\ \text{L}}$$

$$= 54{,}3\ \text{g mol}^{-1}$$

Kaba formülün kütlesi

$$\left(2\ \text{C atomu} \times \frac{12{,}0\ \text{akb}}{1\ \text{C atomu}}\right) + \left(3\ \text{H atomu} \times \frac{1{,}01\ \text{akb}}{1\ \text{H atomu}}\right) = 27{,}0\ \text{akb}$$

Kaba formülün mol kütlesi olan 27,0 g mol^{-1}, gözlenen mol kütlesinin (54,3 g mol^{-1}) tam yarısıdır. Hidrokarbonun molekül formülü:

$$C_{2\times2}H_{2\times3} = C_4H_6$$

Dört karbonlu hidrokarbon bütandır (C_4H_{10}). Bunun 4 hidrojen eksiği C_4H_6 olup, iki tane ikili bağ, C = C, içerir.

$$H_2C{=}CH{-}CH{=}CH_2 \quad \text{ya da} \quad H_2C{=}C{=}CH{-}CH_3$$

Diğer iki olasılık da C-C arası bir üçlü bağın bulunmasıdır. $H_3C—C{\equiv}C—CH_3$ ya da $H_3C—CH_2—C{\equiv}CH$

Değerlendirme

Molekül formülü, yanma verileri ve gaz yasaları yardımıyla bulunabilir. Ancak izomeri sebebiyle kesin yapı formülleri bulunamaz. Bununla beraber, yine de hidrokarbonun dört yapıdan biri olduğu söylenebilir; fakat hala başka yapılar da yazılabilir; örneğin, C atomları düz zincir yerine halkalı bir yapı da olabilir.

ALIŞTIRMA A: Eğer bir hidrokarbon gaz örneğinin 0,5120 g ı aşırı oksijen içinde yakılırsa 1,687 g CO_2 ve 0,4605 g H_2O oluşur. Bu hidrokarbonun 25 °C ve 101,3 kPa da buhar halindeki yoğunluğu 1,637 g/L dir. Hidrokarbonun molekül formülünü bulunuz ve molekülün olası yapı formüllerini çiziniz.

ALIŞTIRMA B: Bir organik bileşik C, H, N ve O içeriyor. Bileşik oksijen içinde uygun katalizör beraberinde yakılırsa azot gazı (N_2), karbondioksit (CO_2) ve su buharı (H_2O) oluşuyor. Bileşiğin 0,1023 g bir örneği 151,2 mg CO_2, 69,62 mg H_2O ve 0,00 °C ve 1,00 atm de 9,62 mL N_2(g) oluşturuyor. Bileşiğin buhar halindeki yoğunluğu 127 °C ve 748 mmHg da 3,57 g/L olduğuna göre, molekül formülü nedir?

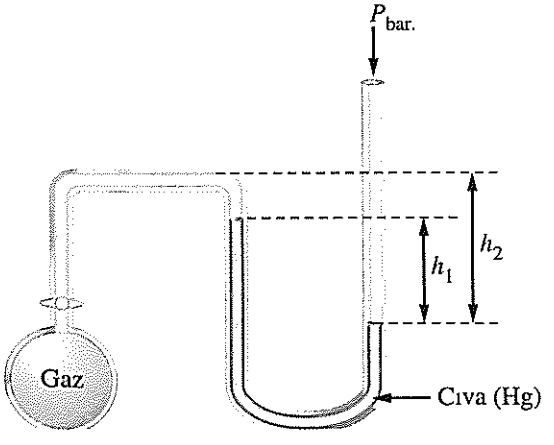
MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, çalışma alanındaki ilave kişisel çalışma sorularına bu bağlantı ile ulaşabilirsiniz

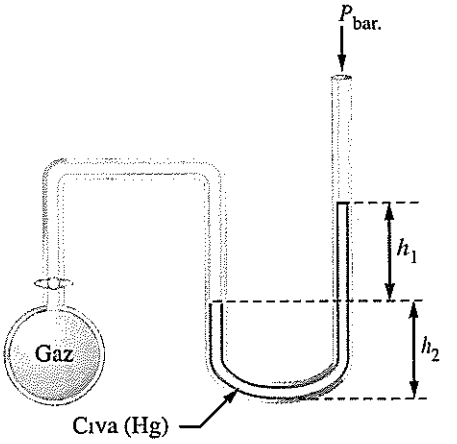
Alıştırmalar

Basınç ve Ölçülmesi

1. Aşağıdaki basınçları atmosfer basıncına çeviriniz. **(a)** 736 mmHg; **(b)** 0,776 bar; **(c)** 892 Torr; **(d)** 225 kPa.
2. Aşağıdaki basınçları veren cıva sütununun yüksekliğini hesaplayınız. **(a)** 0,984 atm; **(b)** 928 Torr **(c)** 142 ft yüksekliğindeki su sütununa eşit basınç.
3. 0,970 atm basınç oluşturmak için gereken sıvı benzen (d = 0,879 g/cm3) sütununun yüksekliğini metre cinsinden hesaplayınız.
4. 3,02 m lik CCl_4(s) (d = 1,59 g/cm^3) ile aynı basıncı oluşturacak sıvı gliserin (d = 1,26 g/cm^3) sütununun yüksekliğini metre cinsinden hesaplayınız.
5. Aşağıdaki düzenekte P_{bar} = 740 mm Hg, h_1= 30 mm, h_2 = 50 mm dir. Verilen gazın basıncı (mm Hg) olarak nedir?



6. Aşağıdaki düzenekte P_{bar}= 740 mm Hg, h_1= 30 mm, h_2= 40 mm dir. Verilen gazın basıncı (mm Hg olarak) nedir?

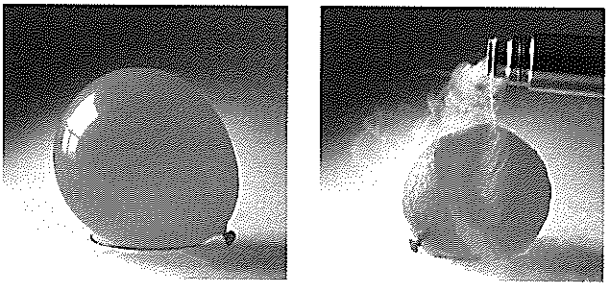


7. Zaman zaman, basınç birimi *kuvvet*/birim alan yerine *kütle*/birim alan olarak ifade edilmektedir. P = 1 atm değerini kg/cm^2 biriminde ifade ediniz.
[*İpucu:* Kilogram cinsinden kütlenin kuvvetle ilişkisi nedir?]

8. P = 1 atm basıncını, pound/inç^2 (psi) olarak ifade ediniz.
[*İpucu:* Alıştırma 7 ye bakınız.]

Basit Gaz Yasaları

9. Bir $O_2(g)$ örneği 762 torr da 26,7 L hacme sahiptir.Gaz miktarı sabit tutularak, (a) basınç 385 Torr a düşürüldüğünde; (b) basınç 3,68 atm e yükseltildiğinde hacim ne kadar olur?
10. 886 mL Ne(g) örneği 752 mmHg ve 26 °C dedir. Gazın miktarı ve basıncı sabit tutularak, (a) sıcaklık 98 °C a yükseltildiğinde; (b) −20 °C a düşürüldüğünde, yeni hacmi ne olur?
11. 177 °C de 3,0 L oksijen gazı sabit basınçta, hacmi 1,50 L oluncaya kadar soğutuluyor. Son sıcaklığı nedir?
12. Bir gazın miktarını ve sıcaklığını sabit tutarak, hacmi 725 mL den 2,25 L e genişletmek istiyoruz. Şayet başlangıç basıncı 105 kPa ise son basınç ne olmalıdır?
13. 35,8 L lik Ar(g) ile dolu bir silindir, içi boşaltılmış 1857 L lik bir tanka bağlanıyor. Sıcaklık sabit tutulduğunda son basınç 721 mmHg ise, ilk silindirdeki gazın basıncı atm cinsinden ne kadardır?
14. Bir $N_2(g)$ örneği, mevcut barometre basıncı altında 42,0 mL lik bir hacim kaplamaktadır. Basıncın 85 mmHg ye arttırılmasıyla hacmi 37,7 mL ye düşmektedir. İlk barometre basıncı milimetre cıva cinsinden ne kadardır?
15. He gazı ile dolu bir hava tahmin balonu 1,000 atmosfer basınç ve 27 °C de, yeryüzünde 2,00 × 103 m^3 hacme sahiptir. Balonun hacmi, basıncın 0,340 atm olduğu yükseklikte $5,00 \times 10^3$ m^3 oluyor. Bu yükseklikteki sıcaklık ne kadardır?
16. Aşağıdaki fotoğraf, argon gazı ile doldurulmuş bir balonun, sıvı azotla soğutulması esnasındaki büzülmeyi göstermektedir. Bu balon, 22 °C oda sıcaklığından, −22 °C son sıcaklığa soğutulursa başlangıç hacminin yaklaşık hangi kesrine büzülür?



17. STP de 75,0 mL hacme sahip bir argon gazının kütlesi ne kadardır?
18. 250,0 g klor gazının STP de hacmi ne kadardır?
19. Elimizde, STP de 27,6 mL $PH_3(g)$ örneği (alev geciktirici kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır) vardır.
    (a) Bu örneğin kütlesi miligram olarak nedir?
    (b) Kaç tane PH_3 molekülü bulunmaktadır?
20. $5,0 \times 10^{17}$ atom radon gazı örneğinin,
    (a) kütlesi kaç mikrogramdır?
    (b) Hacmi STP de kaç mikrolitredir?
21. Deniz kenarında bir paket patates çipsi aldığınızı ve dağa piknik yapmaya gittiğinizi varsayınız. Piknikte paketin patlama noktasında şiştiğini farkettiniz. Bu olayı, gaz davranışları hakkındaki mevcut bilgilerinizi kullanarak açıklayınız.
22. Dalgıçlar *kramp* diye bilinen bir durum nedeniyle derin sulardan acele yüzeye çıkılmayacağını bilirler (Bölüm 13). Hızla yükselmek akciğerlerde ve kan damarlarında hasarlara yol açar. Dalgıçların 30 m derinlikte akciğerlerine doldurdukları basınçlı havayı içlerinde tutarak hızla yüzeye çıkmalarının akciğerlerine ne gibi bir zarar vereceğini açıklayınız.

Genel Gaz Denklemi

23. Bir gaz örneğinin hacmi, 25,6 °C ve 748 mmHg de 4,25 L dir. Bu gazın 26,8 °C ve 742 mmHg deki hacmi nedir?
24. 10,0 g bir gaz örneği 25 °C ve 762 mmHg de 5,25 L hacim kaplar. Bu 5,25 L lik *sabit* hacme aynı gazdan 2,5 g daha eklenir ve sıcaklık 62 °C ye çıkartılırsa gazın yeni basıncı ne olur?
25. Sabit hacimdeki bir kap 21 °C de 12,5 g gaz içermektedir. Gazın sıcaklığı 210 °C ye yükseltildiğinde basıncı sabit tutabilmek için kaç gram gaz salınmalıdır?
26. 34,0 L lik bir silindir 22 °C de 305 g $O_2(g)$ içermektedir. Sabit sıcaklıkta silindirdeki basıncı 1,15 atm e düşürmek için kaç gram $O_2(g)$ salınmalıdır?

İdeal Gaz Denklemi

27. 37 °C ve 737 mmHg de 89,2 g $CO_2(g)$ kaç mililitre hacim kaplar?
28. 12,8 L lik bir silindir 46 °C de 35,8 g O_2 gazı içermektedir. Bu gazın basıncı kaç atm dir?
29. 18,5 L lik bir silindirde bulunan Kr(g) 28,2 °C de 11,2 atm basınç yapmaktadır. Gazın kütlesi kaç gramdır?
30. 7,41 g He içeren, 72,8 L sabit hacimli bir silindir, gazın basıncı 3,50 atm e ulaşıncaya kadar ısıtılıyor. Son sıcaklık kaç °C olur?
31. Laboratuvarda, bir kabın havası, yüksek vakum sistemi yardımıyla 1 metre küpünde $5,0 \times 10^9$ molekül kalıncaya kadar boşaltılıyor. Son basınç kaç paskaldır?
32. Çapı 25,0 cm ve yüksekliği 1,75 m olan bir silindirde 1242 g CO(g) bulunmaktadır. Bu gazın −25 °C deki basıncı kaç paskaldır?

33. Bir ideal gazın molar hacmi (a) 25 °C ve 1,00 atm de, (b) 100 °C ve 748 Torr da ne kadardır?

34. Eğer bir gazın basıncı 2,5 atm ise hangi sıcaklıkta ideal gazın molar hacmi 22,4 L ye eşit olur?

Mol Kütlesi Tayini

35. 66,3 °C ve 743 mmHg basıncında 0,418 g gazın hacmi 115 mL dir. Bu gazın mol kütlesi ne kadardır?
36. 415 K ve 725 torr da bulunan ve yoğunluğu 0,841 g/L olan bir gazın mol kütlesi ne kadardır?
37. % 70,4 F içeren ve 20 °C ve 1 atm de yoğunluğu yaklaşık 4,5 g/L olan kükürt florür gazının molekül formülü nedir?
38. 650 g lık bir gaz örneği 24,3 °C ve 742 mmHg de 428 L lik bir hacim kaplamaktadır. Bu bileşik kütlece % 15,5 C, % 23,0 Cl ve % 61,5 F içermektedir. Bu bileşiğin molekül formülü nedir?
39. 0,231 g ağırlığındaki bir hidrokarbon gazı 23 °C ve 749 mmHg de 102 mL lik bir hacim kaplamaktadır. Bu bileşiğin mol kütlesi nedir? Bu bileşiğin molekül formülü hakkında neler söyleyebilirsiniz?
40. 132,10 mL lik cam bir balon 56,1035 g gelmektedir. Bu kap 20,02 °C ve 749,3 mmHg da asetilenle doldurulduğunda ağırlığı 56,2445 g olmaktadır. Asetilenin mol kütlesi nedir? Molekül formülü hakkında ne söyleyebilirsiniz?

Gaz Yoğunlukları

41. Özel bir uygulamada 32 °C de 1,80 g/L yoğunluğa sahip $N_2(g)$ kullanılmaktadır. N_2 nin milimetre civa olarak basıncı ne olmalıdır? Bu koşullarda molar hacmi ne kadardır?
42. Monokloretilen, polivinilklorür (PVC) üretiminde kullanılmaktadır. Bu bileşiğin, 22,8 °C ve 756 mmHg deki yoğunluğu 2,56 g/L dir. Monokloretilenin mol kütlesi ne kadardır?
43. Gaz dolu bir balonun havalanması için, balondaki gazın yoğunluğu havanın yoğunluğundan daha az olmalıdır.
(a) Havanın mol kütlesinin 28,96 g/mol hava olduğunu düşünerek, havanın 25 °C de ve 1 atm basınçtaki yoğunluğunu hesaplayınız.
(b) 25 °C ve 1 atm basınçta $CO_2(g)$ ile doldurulmuş bir balonun, 25 °C havada uçamayacağını hesapla gösteriniz?
44. Örnek 43 ün (b) şıkkındaki balonun havada yükselebilmesi için gaz en az kaç °C ye ısıtılmalıdır? (Balonun kütlesini gözönüne almayınız.)
45. Fosfor buharının yoğunluğu 310 °C ve 755 mmHg de 2,64 g/L dir. Bu koşullarda fosforun molekül formülü nedir?
46. % 82,7 C ve %17,3 H den oluşan bir hidrokarbon gazı, 23 °C ve 746 mmHg de 2,33 g/L lik bir yoğunluğa sahiptir. Bu hidrokarbonun molekül formülü nedir?

Kimyasal Tepkimelerde Gazlar

47. 75,6 L $C_3H_8(g)$ in yanması için gereken $O_2(g)$ nin hacmi, her iki gaz da STP de ölçüldüğünde, ne kadardır?
48. Aşağıdaki tepkimeye göre STP de her bir gram Al(k) kaç litre $H_2(g)$ oluşturur?

$$2\,Al(k) + 6\,HCl(suda) \longrightarrow 2\,AlCl_3(suda) + 3\,H_2(g)$$

49. Bir kömür örneği kütlece % 3,28 S içermektedir. Kömür yandığı zaman kükürt, $SO_2(g)$ gazına dönüşmektedir. $1{,}2 \times 10^6$ kg kömürün yakılmasıyla elde edilen $SO_2(g)$ nin 23 °C ve 738 mmHg deki hacmi ne kadardır?
50. Uzay araçlarından $CO_2(g)$ i uzaklaştırma yöntemlerinden biri LiOH ile tepkimeye sokulmasına dayanır. 25,9 °C ve 751 Torr da 1 kg LiOH kaç litre $CO_2(g)$ tutabilir?

$$2\,LiOH\,(k) + CO_2(g) \longrightarrow Li_2CO_3(k) + H_2O(g)$$

51. 3,57 g lık bir KCl – $KClO_3$ karışımı ısıtılarak bozunduğunda 22,4 °C ve 738 mmHg basınçta 119 mL $O_2(g)$ oluşmaktadır. Karışımdaki $KClO_3$ ın kütlece yüzdesi nedir?

$$2\,KClO_3(k) \longrightarrow 2KCl(k) + 3\,O_2(g)$$

52. Hidrojen peroksit, H_2O_2, kontakt lenslerin dezenfekte edilmesinde kullanılmaktadır. Kütlece % 3,00 H_2O_2 içeren 10,0 mL lik sulu çözeltiden açığa çıkan $O_2(g)$ nin hacmi 22 °C ve 752 mmHg de kaç mL dir? Hidrojen peroksit çözeltisinin yoğunluğu 1,01 g/mL dir.

$$2\,H_2O_2(suda) \longrightarrow 2H_2O(s) + O_2(g)$$

53. 0°C ve 760 Torr da 28,5 L CO(g) ile aşağıdaki tepkimeye girmesi için gerekli $H_2(g)$ nın 26 °C ve 751 Torr daki hacmini hesaplayınız.

$$3CO(g) + 7\,H_2(g) \longrightarrow C_3H_8(g) + 3\,H_2O\,(s)$$

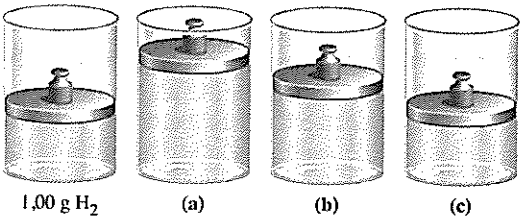
54. Haber yöntemi azot gazını (N_2) azot bileşiklerine çevirerek tutmak için kullanılan başlıca yöntemlerden biridir.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$$

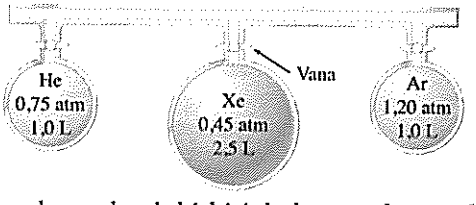
Tepkimeye giren gazların tamamının $NH_3(g)$ bileşiğine dönüştüğünü ve gazların ideal gaz gibi davrandığını varsayarak,
(a) 315 °C ve 5,25 atm de 152 L $N_2(g)$ ve 313 L $H_2(g)$ den üretilen $NH_3(g)$ ün hacmi ne kadardır?
(b) 315 °C ve 5,25 atm de ölçüldüğünde 152 L $N_2(g)$ ve 313 L $H_2(g)$ den elde edilen $NH_3(g)$ ün 25 °C ve 727 mmHg deki hacmi ne kadardır?

Gaz Karışımları

55. 7,15 atm basınç ve 26,7 °C de 15,2 g Ne(g) ve 34,8 g Ar(g) karışımının işgal ettiği hacim kaç litredir?
56. 0,0 °C ve 1,00 atm de H_2(g) ile doldurulan bir balonun hacmi 2,24 L dir. Basınç ve gaz miktarı sabit tutularak balona 0,10 mol He(g) ekleniyor ve sıcaklık 100 °C a yükseltiliyor, son hacim ne kadar olur?
57. 53,7 L hacminde bir silindir 28,2 atm ve 26 °C de azot gazı içeriyor. Aynı silindire toplam basıncın 75,0 atm e yükseltmek için kaç gram Ne(g) eklenmelidir?
58. 762 mmHg ve 24 °C de 2,35 L H_2 içeren bir kap, 728 mmHg ve 24 °C de 3,17 L He(g) içeren başka bir kaba bağlanmıştır. Sıcaklık aynı, 24 °C tutulduğunda karışma sonrası toplam gaz basıncı kaç mmHg olur?
59. 0 °C de 2,24 L lik bir silindirdeki 1,60 g O_2(g) nin 2,00 atm basınç oluşturması için aşağıdaki seçeneklerden hangisini geçekleştirmelisiniz? (a) 1,60 g O_2 eklenmesi; (b) 0,80 g O_2 salınması, (c) 2,00 g He eklenmesi; (d) 0,60 g He eklenmesi.
60. 4,3 L lik bir kapta bulunan 4,0 g H_2(g) ve 10,0 g He(g) karışımı 0 °C de tutulmaktadır.
    (a) Kaptaki toplam basınç ne kadardır?
    (b) Her bir gazın kısmi basıncı ne kadardır?
61. 2,00 L lik bir kap 752 mmHg ve 35 °C de Ar(g) ile doldurulmaktadır. Daha sonra, 0,728 g C_6H_6 buharı eklenmektedir.
    (a) Kaptaki toplam basınç ne kadardır?
    (b) Ar ve C_6H_6 nın kısmi basınçları ne kadardır?
62. Nefesle dışarıya verilen havanın kimyasal bileşimi normal havadan farklıdır. Nefesle verilen havada 37 °C ve 1,00 atm de hacimce % 74,2 N_2, % 15,2 O_2, % 3,8 CO_2, % 5,9 H_2O ve % 0,9 Ar vardır. Normal havanın bileşimi ise Alıştırma 6-12B de verilmiştir.
    (a) Nefesle verilen havadaki CO_2(g) in kısmi basıncının normal havadaki CO_2(g) in kısmi basıncına oranı nedir?
    (b) Aynı sıcaklık ve basınçta, nefesle verilen havanın yoğunluğu normal havaya kıyasla daha fazla mıdır, yoksa daha az mıdır? Açıklayınız.
    (c) Normal havanın ve nefesle verilen havanın 37,0 °C ve 1,00 atm deki yoğunluklarını hesaplayarak beklentinizi doğrulayınız.
63. Aşağıdaki çizimde (solda), 1,00 g H_2(g) bir silindir içinde serbestçe hareket eden bir piston yardımıyla kapatılarak 1 atm basınçta tutulmaktadır. Aşağıdaki seçeneklerden (a), (b) ve (c) den hangisi 1,00 g He ilave edilmesiyle elde edilen karışımı en iyi simgeler? Açıklayınız.



64. Yukarıdaki çizimde bir silindire 300 K de 1,00 g H_2(g) konuyor ve serbestçe hareket eden bir piston yardımı ile basınç 1 atm e ayarlanıyor. Silindire 0,50 g H_2 eklenir ve sıcaklık 275 K e düşürülürse, (a), (b) ve (c) seçeneklerinden hangisi bu duruma en iyi uyar? Yanıtınızı açıklayınız.
65. 4,0 L O_2(g) 1,0 atm basınca sahiptir. 2,0 L N_2(g) 2,0 atm basınca sahiptir. Şayet bu iki gaz 2,0 L lik bir kaba sıkıştırılırsa, karışımın son basıncı kaç atm olur? Gazın sıcaklığının değişmediğini varsayınız.
66. Aşağıda birbiri ile bağlantılı üç kap içinde basınç ve bileşimi bilinen gazlar bulunmaktadır.



Vanalar açılarak birbiriyle karıştırılan gazların basıncı 0,675 atm ölçülüyor. Toplam tüplerinin toplam hacmi ne kadardır? Sıcaklığın sabit kaldığını varsayınız.

Gazların Sıvı Üzerinde Toplanması

67. 1,65 g lık bir Al örneği aşırı HCl ile tepkimeye sokuluyor ve oluşan H_2 gazı 25 °C ve 744 mmHg barometre basıncında su üzerinde toplanıyor. Toplanan gazın hacmi kaç litredir?

$$2Al(k) + 6HCl(suda) \longrightarrow 2\,AlCl_3(suda) + 3\,H_2(g)$$

68. 89,3 mL ıslak bir O_2(g) örneği 756 mmHg barometre basıncında, 21,3 °C de su üzerinde toplanıyor (suyun 21,3 °C de buhar basıncı = 19 mmHg). (a) Toplanan örnekteki O_2(g) nın kısmi basıncı kaç milimetre cıvadır? (b) Toplanan gazdaki O_2(g) hacim yüzdesi kaçtır? (c) Örnekte kaç gram O_2(g) vardır?
69. 24 °C de bir O_2(g) örneği su üzerinde toplanıyor. Gazın hacmi 1,16 L dir. Toplanan O_2 nin kütlesi 1,46 g bulunmuştur. Gazın toplandığı anda barometre basıncı ne olmalıdır? (Suyun buhar basıncı = 22,4 Torr.)
70. 25,0 °C ve 738,6 mmHg barometre basıncında heksan sıvısı üzerinde toplanan 1,072 g He(g) 8,446 L hacim kaplamaktadır. Bu verilerden yararlanarak, heksanın 25 °C de buhar basıncını hesaplayınız.
71. Yüksek sıcaklıkta $NaClO_3$ bileşiği sodyum klorür ve O_2 vermek üzere bozunur. 0,8765 g saf olmayan bir sodyum klorat ($NaClO_3$) örneği ısıtılıyor. Açığa çıkan oksijen gazı su üzerinde top-

lanıyor ve hacmi 23 °C ve 734 Torr da 57,2 mL ölçülüyor. $NaClO_3$ bileşiğinin kütle yüzdesini hesaplayınız. Safsızlığın ısıtınca oksijen oluşturmadığını varsayınız. 23 °C de suyun buhar basıncı 21,07 Torr dur.

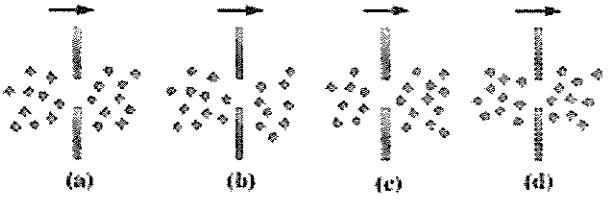
72. Eğer $KClO_3$ hızla ısıtılırsa katı KCl ve O_2 gazına bozunur. 0,415 g saf olmayan $KClO_3$ hızla ısıtılıyor ve oluşan O_2 gazı su üzerinde toplanıyor. Şayet ıslak O_2 gazı 26 °C ye soğutulursa hacmi 229 mL ve basıncı 323 Torr oluyor. Örnekteki $KClO_3$ ın kütlece yüzdesi nedir? Safsızlığın ısıtmada oksijen oluşturmadığını varsayınız. 26 °C de suyun buhar basıncı 25,22 Torr dur.

Kinetik-Molekül Kuramı

73. 30°C de $Cl_2(g)$ moleküllerinin $\sqrt{\overline{u^2}}$ değerini m/s cinsinden hesaplayınız.
74. Hidrojen moleküllerinin 273 K de $\sqrt{\overline{u^2}}$ değeri 1,84 × 103 m/s dir. Bu hız hangi sıcaklıkta iki katına çıkar?
75. Örnek 6-14 yi gözönüne alınız. 25 °C sıcaklıkta bir gazın moleküllerinin $\sqrt{\overline{u^2}}$ değerinin M-16 mermisinin hızına eşit olması için, bu gazın molekül kütlesi ne olmalıdır?
76. Örnek 6-14 yi gözönüne alınız. Soy gazlar tek atomlu gazlardır (18.grup). 25 °C sıcaklıkta $\sqrt{\overline{u^2}}$ değeri M-16 mermisinden daha fazla ve daha az olan birer soygaz gösteriniz.
77. Hangi sıcaklıkta Ne gazının $\sqrt{\overline{u^2}}$ değeri 300 K deki helyum gazınınkinin aynısıdır?
78. Radar hızları sırasıyla 38, 44, 45, 48, 50, 55, 55, 57, 58 ve 60 mil/saat olarak saptanan on otomobilin $u_{e.o'}$ $\overline{u}$ ve $\sqrt{\overline{u^2}}$ değerlerini hesaplayınız.
79. O_2 gazının 298 K ve 1,00 atm basınçta ortalama kinetik enerjisini $\overline{e_k}$, hesaplayınız.
80. 155 g $N_2(g)$ nın 25 °C ve 1,00 atm de toplam kinetik enerjisini joule cinsinden hesaplayınız. [*İpucu*: önce ortalama kinetik enerjiyi, $\overline{e_k}$, hesaplayınız]

Gazların Difüzyon ve Efüzyonu

81. Bir delikten belirli bir zaman aralığında 0,00484 mol $N_2O(g)$ efüzlenir, aynı süre ve aynı koşullarda ne kadar $NO_2(g)$ efüzlenir?
82. Bir $N_2(g)$ örneği ince bir delikten 38 saniyede efüzleniyor. Aynı koşullarda 64 saniyede efüzlenen bir gazın mol kütlesi ne olmalıdır?
83. Aşağıdaki gaz çiftlerinin difüzyon (yayılma) hızlarının oranları nedir? **(a)** N_2 ve O_2; **(b)** H_2O ve D_2O (D = detöryum, yani ^2_1H); **(c)** $^{14}CO_2$ ve $^{12}CO_2$; **(d)** $^{235}UF_6$ ve $^{238}UF_6$.
84. Aşağıdaki gösterimlerden hangisi O_2 ve SO_2 molekülleri için, delikten okla gösterilen yönde efüzlendikten sonra delik yakınındaki dağılımını en iyi temsil eder? Başlangıçta deliğin sol yanında O_2 (●) ve SO_2 (●) molekülleri eşit sayıdadır. Açıklayınız.



85. STP de neonla doldurulan bir balonun hacmi 22 saatte yarıya inmektedir. Aynı balon helyum ile doldurulsaydı, STP de orijinal hacminin yarısına büzülmesi için ne kadar süre gerekirdi?
86. Radon gazının mol kütlesi ilk defa, radonun difuzyon hızının cıva buharının Hg(g) difüzyon hızına oranından hesaplanmıştır. Cıva buharının difüzyon hızı radon gazından 1,082 kez daha fazla ise radonun mol kütlesi ne kadardır? Difüzyon için Graham yasasının geçerli olduğunu varsayınız.

İdeal Olmayan Gazlar

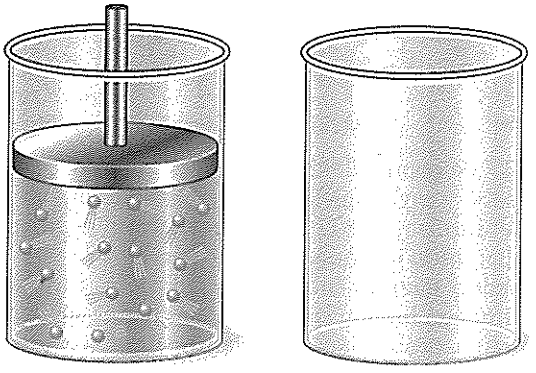
87. Örnek 6-17 ye bakınız. Aşağıda verilen sıcaklıklarda Cl_2 gazının basıncını, ideal gaz denklemini ve van der Waals denkleminin ikisini de kullanarak tekrar hesaplayınız. **(a)** 100 °C, **(b)** 200 °C, **(c)** 400 °C. Bu sonuçlardan hareketle, gazların yüksek sıcaklıklarda, düşük sıcaklıklara göre niçin daha fazla ideal gaz gibi davrandıklarını açıklayınız.
88. 298 K de 1,50 mol $SO_2(g)$ nin basıncını aşağıda verilen hacimleri kullanarak, ideal gaz ve van der Waal denkleminleri ile hesaplayınız. **(a)** 100,0 L, **(b)** 50,0 L, **(c)** 20,0 L, **(d)** 10,0 L. Bu koşullardan hangisinde, ideal gaz denkleminden hesaplanan basınç ile van der Waals denkleminden hesaplanan basınç arasında küçük bir fark vardır? Bu farkı yüzde olarak bulunuz. Çizelge 6.5 deki *a* ve *b* değerlerini kulanınız. .
89. Çizelge 6.5 de He(g) için verilen van der Waals sabiti *b* değerini kullanarak, tek bir helyum atomunun yarıçapını (*r*) pikometre biriminde hesaplayınız. [*İpucu*: *r* yarıçaplı kürenin hacmi, $4\pi r^3/3$ dür].
90. (a) $CH_4(g)$ için Çizelge 6.5 de verilen van der Waals sabiti *b* değerini kullanarak metan CH_4 molekülünün yarıçapını bulunuz (Alıştırma 89 a bakınız). Bulduğunuz yarıçap değeri kaçtır ve bu değeri katı metanın yapı analizinden deneysel olarak belirlenen *r* = 228 pm değeri ile nasıl karşılaştırırınız? **(b)** $CH_4(g)$ yoğunluğu 325 K ve 100 bar da 66,02 g/mL olduğuna göre, bu sıcaklık ve basınçta sıkıştırılabilme faktörünün değeri nedir?

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

91. Milimetre civa basıncının tam olarak tanımlanmasında (sayfa 194), Hg(s) yoğunluğunun ve yerçekimi ivmesinin, *g*, neden dikkate alınması gerektiğini açıklayınız.

92. Şekil 6-7 deki *A*, *B* ve *C* ile işaretlenen grafiklerin başlangıç koşullarının (A) 400 K de 10,0 mL; (B) 400 K de 20,0 mL; (C) 400 K de 40,0 mL olduğunu varsayınız. Her bir gazın hacmini 0, −100, −200, −250 ve −270 °C de Charles yasasına göre hesaplayınız. Gazın hacimlerinin −273,15 °C de sıfır olduğunu gösteriniz.

93. Aşağıdaki şekli gözönüne alınız. Solda, hem makroskopik, hem molekül seviyesinde bir "başlangıç" durumunu görülmektedir: Bu kapta 273 K ve 1,00 atm de bir mol gaz vardır. Aşağıdaki herbir değişiklikten sonraki durumu, olabildiğince ayrıntılı biçimde gösteriniz.
(a) Sabit sıcaklıkta basınç 250 mmHg ye değiştiriliyor.
(b) Sabit basınçta sıcaklık 140 K e değiştiriliyor.
(c) Basınç 0,5 atm ve sıcaklık 550 K e değiştiriliyor.
(d) Silindire 0,5 mol gaz ilave edilirken, sıcaklık 135 °C ye ve basınç 2,25 atm e değiştiriliyor.



İlk Son

94. Eşit hacimde, havası boşaltılmış iki cam balon, hacmi ihmal edilebilen bir tüple birbirine bağlanıyor. Balonlardan biri 225 K sabit sıcaklıkta bir banyoya ve diğeri 350 K sabit sıcaklıkta başka bir banyoya yerleştiriliyor. Sisteme tam bir mol ideal bir gaz enjekte ediliyor. Her bir balondaki gazın son mol sayısını hesaplayınız.

95. Bir bileşik kütlece %85,6 karbon içeriyor. Şayet bileşiğin 10,0 g ı 50,0 °C de buharlaştırılırsa, buhar 1,00 atm basınçta 6,30 L hacim işgal ediyor. Bileşiğin molekül formülü nedir?

96. Bir hidrokarbonun 0,7178 g lık miktarı 65,0 °C ve 99,2 kPa da, 390,7 mL hacim işgal ediyor. Eğer hidrokarbon aşırı oksijen içinde yakılırsa 2,4267 g CO_2 ve 0,4967 g H_2O meydana geliyor. Hidrokarbonun molekül formülü nedir? Bileşik için olası bir yapı formülü yazınız.

97. 3,05 g $NH_4NO_3(k)$ 2,18 L hacimde boş bir kaba yerleştiriliyor ve 250 °C ye ısıtılıyor. NH_4NO_3 tamamen bozunduğu zaman aynı sıcaklıkta kaptaki toplam gaz basıncı kaç atm olur?

$$NH_4NO_3(k) \longrightarrow N_2O(g) + 2H_2O(g)$$

98. Amonyum nitrit (NH_4NO_2), aşağıdaki kimyasal eşitliğe göre bozunur.

$$NH_4NO_2(k) \longrightarrow N_2(g) + 2H_2O\,(g)$$

128 g NH_4NO_2 bileşiği 819 °C ve 101 kPa da bozunursa, oluşan ürünlerin toplam hacmi ne olur?

99. 1,00 g H_2 ve 8,60 g O_2 karışımı 25°C de 1,500 L lik bir kaba konuyor. Eğer karışım tutuşturulursa, şiddetli bir tepkime sonunda yalnızca su oluşuyor. Kabın sıcaklığı tekrar 25 °C ye getirilirse, kaptaki gazın toplam basıncı ne kadar olur? (25 °C de suyun buhar basıncı = 23,8 mmHg dır.)

100. $CO_2(g)$ ve katı sodyum peroksidin(Na_2O_2) tepkimesinden katı sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve oksijen gazı oluşur. Bu tepkime denizaltılardan ve uzay araçlarından $CO_2(g)$ gazını bağlayarak uzaklaştırmak ve nefes almak için gerekli olan $O_2(g)$ gazını oluşturmak için kullanılır. Solunan gaz hacminin 4,0 L/dakika olduğunu, nefes ile verilen havada hacimce % 3,8 CO_2 bulunduğunu ve gazların ise 25 °C ve 735 mmHg da olduğunu varsayınız. Yukarıdaki tepkimede $CO_2(g)$ ve $O_2(g)$ gazları aynı sıcaklık ve basınçta ölçülürse **(a)** Dakikada kaç mililitre $O_2(g)$ oluşur **(b)** $Na_2O_2(k)$ nın tüketim hızı saat başına kaç gramdır?

101. 0,00 °C ve 1,00 atm de kütlece % 46,5 N_2, % 12,7 Ne ve % 40,8 Cl_2 içeren bir gaz karışımında, $Cl_2(g)$ gazının kısmi basıncı kaç milimetre cıvadır?

102. Bir He ve O_2 gazı karışımının 25 °C ve 721 mmHg da yoğunluğu 0,518 g/L dir. Karışımdaki helyumun kütlece yüzdesi (% He) nedir?

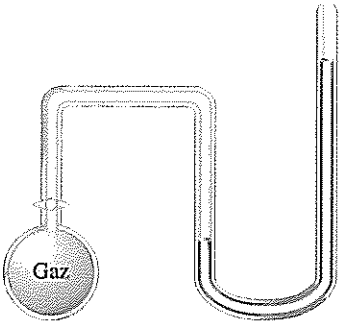
103. Bir gaz karışımı ile çalışıldığında, bazen *gözlenen mol kütlesi*nin (ağırlıkça ortalama mol kütlesi) kullanılması daha uygundur. Böyle durumlarda karışım tek bir gaz gibi düşünülür. Hacimce %78,08 N_2, % 20,95 O_2, % 0,93 Ar ve % 0,036 CO_2 den oluşan havanın görünür mol kütlesini hesaplayınız.

104. $N_2O(g)$ ve $O_2(g)$ karışımı anestezi gazı olarak kullanılabilir. Belirli özel bir karışımdaki $N_2O(g)$ ve $O_2(g)$ nin kısmi basınçları sırayla 612 Torr ve 154 Torr dur. **(a)** karışımdaki N_2O nin kütlece yüzdesini ve **(b)** bu anestezi gazının görünür mol kütlesini hesaplayınız. [*İpucu*: (b) şıkkı için Alıştırma 103 e bakınız.]

105. Hacmi 48,2 L olan bir gaz silindiri (A), 8,35 atm basınçta ve 25 °C de $N_2(g)$ gazı içermektedir. Hacmi belli olmayan bir B silindiri ise 9,50 atm 25 °C de He(g) gazı içermektedir. İki silindir birleştirilip gazlar karıştırıldığında her bir silindirdeki basınç 8,71 atm olmaktadır. B silindirinin hacmi nedir?

106. Aşağıdaki şekilde ucu kapalı bir manometre görülmektedir. Gaz basıncının nasıl ölçüldüğünü açıklayınız. Bu manometre kullanıldığında P_{bar} ölçümü neden gerekli değildir? Neden

kapalı uçlu manometrelerin düşük basınçların ölçümüne uygun olduğunu, açık uçlu manometrelerin ise atmosfer basıncına yakın basınçların ölçümüne uygun olduğunu açıklayınız.



107. Hava gazı, bir tür yakıt gazı olup, hava veya buharın sıcak kömür veya koktan geçirilmesiyle elde edilir. Tipik bir hava gazı bileşimi hacimce: % 8,0 CO_2, % 23,2 CO, % 17,7 H_2, % 1,1 CH_4, ve % 50,0 N_2 içerir.
(a) Bu gazın 23 °C ve 763 mmHg deki yoğunluğu gram/litre cinsinden nedir?
(b) Bu karışımdaki CO in 0,00 °C ve 1 atm deki kısmi basıncı nedir?
(c) 23 °C ve 741 Torr da $1,00 \times 10^3$ L hava gazının tamamen yanması için gereken havanın, yine 23 °C ve 741 Torr da ölçülen hacmi ne kadardır?
[*İpucu*: Gazın üç yanıcı bileşeni hangileridir?]

108. Kış uykusuna yatan hayvanlarının ısı ihtiyacı araçidonik asit [$C_{20}H_{32}O_2$] gibi yağ asitlerinin biyokimyasal olarak yanmasıyla sağlanır. 2,00 kg $C_{20}H_{32}O_2$ yanması için 298 K ve 1,00 atm de hacimce yaklaşık %78,1 N_2 ve %20,9 O_2 içeren kaç litre hava gerekir? Geri kalan % 1,0 i diğer gazlar sağlar.

109. 1,32 g suyun elektrolizi ile $H_2(g)$ ve $O_2(g)$ gaz karışımı hazırlanıyor. Gaz kışırımı 30 °C ve 748 mmHg da su üzerinde toplanıyor. Elde edilen gazın hacmi 2,90 L dir. 30 °C deki suyun buhar basıncı ne kadar olmalıdır?

$$2\,H_2O(s) \xrightarrow{\text{elektroliz}} 2\,H_2(g) + O_2(g)$$

110. Hem aluminyum (Al) hemde demir (Fe), hidroklorik asit çözeltisiyle (HCl) tepkiyerek hidrojen gazı, $H_2(g)$, ve klorür tuzları verirler. 0,1924 g Al ve Fe karışımı numunesi HCl çözeltisinin aşırısı ile muamele ediliyor. Tepkime sonucu açığa çıkan 159 mL H_2 gazı, 19,0 °C ve 841 Torr da su üzerinde toplanıyor. Karışımdaki Fe in kütlece yüzdesi nedir? Suyun 19,0 °C deki buhar basıncı 16,5 Torr dur.

111. 0,168 L O_2 gazı 737 mmHg ve 26 °C de su üzerinde toplanıyor. Toplanan gazdaki su buharının yüzdesi, (a) hacimce, (b) molekül sayısı olarak, (c) kütlece nedir? 26 °C de suyun buhar basıncı 25,2 mmHg dır.

112. N_2 yerine He ile bir nefes alma karışımı hazırlanıyor. Gaz karışımı hacimce % 79 He ve % 21 O_2 dir. **(a)** 25°C ve 1,00 atm de bu karışımın yoğunluğu litre başına gram olarak kaçtır? **(b)** Hangi basınçta He–O_2 karışımının yoğunluğu 25°C ve 1,00 atm deki havanın yoğunluğu ile aynı olur? Havanın bileşimi için Alıştırma 103 e bakınız.

113. Bazen suyu temizlemede klorlama bileşiği olarak kullanılan ClO_2 aşağıdaki tepkimeye göre hazırlanır.

$$Cl_2(g) + 4\,NaClO(suda) \longrightarrow 4\,NaCl(suda) + 2ClO_2(g)$$

Bir deneyde 10,0 °C ve 4,66 atm de; 1,0 L $Cl_2(g)$ gazı 0,750 L lik 2,00 M NaClO(suda) çözeltisinde çözülüyor. Eğer bu deneyde 25,9 g saf $ClO_2(g)$ elde edilmiş ise, yüzde verim kaçtır?

114. Bir gaz karışımındaki O_3 gazının miktarı, bu karışım aşırı potasyum iyodür(KI) çözeltisinden geçirilerek tayin edilebilir. Ozon, iyodür iyonu ile aşağıdaki gibi tepkime verir:

$$O_3(g) + 3I^-(suda) + H_2O(s) \longrightarrow O_2(g) + I^-_3(suda) + 2OH^-(suda)$$

Oluşan I_3^- miktarı tiyosülfat iyonu ($S_2O_3^{2-}$) ile titre edilerek belirlenir:

$$I_3^-(suda) + 2\,S_2O_3^{2-}(suda) \longrightarrow 3I^-(suda) + S_4O_6^{2-}(suda)$$

Bir gaz karışımı 18 °C ve 0,993 atm de 53,2 L hacim kaplamaktadır. Karışımdaki tüm ozonun tepkimeye girmesi için karışım aşırı KI içeren çözeltiden yavaş yavaş geçirilmektedir. Son çözeltinin dönüm noktasına kadar titrasyonu için 26,2 mL 0,1359 M $Na_2S_2O_3$ çözeltisi gerekmiştir. İlk karışımdaki ozonun mol kesrini hesaplayınız.

115. 30,1°C deki 8,050 L kuru hava içerisinde bulunan 0,1052 g $H_2O(s)$, tam olarak buharlaştırılıyor. Bu hava hangi sıcaklığa kadar soğutulmalı ki, içindeki bağıl nem % 80 olsun? Suyun buhar basıncı; 20 °C de 17,54 mmHg, 19 °C de 16,48 mmHg, 18 °C de 15,48 mmHg, 17 °C de 14,53 mmHg, 16 °C de 13,63 mmHg, 15 °C de 12,79 mmHg dır. [*İpucu:* www.masteringchemistry.com adresine giriniz Bölüm 6 da bağıl nem konusuna bakınız.]

116. Şekil 6-6 ya seçenek olarak, P ye karşı $1/V$ grafiği çizilebilir. Sonuçta merkezden geçen bir doğru ortaya çıkar. Özellikli Alıştırma 125 deki Boyle verilerini kullanarak, böyle bir doğru grafiği çiziniz. Bu doğrunun *eğimini* hangi faktörler etkilemektedir? Açıklayınız.

117. Atmosfer basıncının yüksekliğe bağlı olduğunu belirtmiştik. Atmosfer basıncı yüksekliğin fonksiyonu olarak barometre formülü yardımıyla hesaplabilir.

$$P = P_0\, x10^{-\mathrm{M\,gh/2{,}303}RT}$$

Bu eşitlikte P ve P_0 Torr gibi herhangi bir basınç biriminde olabilir. P_0 deniz seviyesindeki basınçtır ve 1,00 atm veya eşdeğeridir. Üstel terimdeki birimler ise SI sisteminde olmalıdır. Barometre formülünü,
(a) Kaliforniya'daki Whitney Dağının tepesindeki (yükseklik: 14,494 ft; sıcaklığı 10 °C kabul ediniz) barometre basıncının hesaplanmasında,
(b) Yüksekliğin her 900 ft artmasıyla barometre basıncının otuzda birine düştüğünü göstermek için kullanınız.

118. 298 °C ve 1,0 atm de bir $O_2(g)$ numunesini dikkate alarak **(a)** $\sqrt{u^2}$, **(b)** $\sqrt{u^2}$ hızına eşit molekül sayısı kesrini hesaplayınız.

119. 300 K de ortalama kinetik enerjiye sahip bir azot molekülü (N_2), yer yüzeyinden yukarı doğru salınıyor. Molekül diğer hiçbir molekülle çarpışmadan hep yukarı doğru hareket etseydi, durmadan kaç km yüksekliğe kadar çıkardı? [*İpucu*: Molekül durma noktasına ulaştığında *mgh* potansiyel enerjisine sahip olacaktır, burada *m* kilogram olarak kütle, $g = 9{,}81\ ms^{-2}$ yer çekimi ivmesi ve *h* metre olarak yer yüzünden yüksekliktir.]

120. 0 °C ve 1 atm de $H_2(g)$ için **(a)** 0 ms^{-1}, **(b)** 500 ms^{-1}, **(c)** 1000 ms^{-1}, **(d)** 1500 ms^{-1}, **(e)** 2000 ms^{-1}, **(f)** 2500 ms^{-1}, **(g)** 3500 ms^{-1} hızlara sahip moleküllerin yüzdesini hesaplayınız. Sonuçlarınızı Şekil 6-15 deki grafiğe yerleştiriz.

121. van der Waals eşitliği hacime göre çözüldüğünde üçüncü dereceden bir denklem elde edilir.

(a) (6.26) eşitliğini düzenleyerek aşağıdaki eşitliği türetiniz.

$$V^3 - n\left(\frac{RT + bP}{P}\right)V^2 + \left(\frac{n^2a}{P}\right)V - \frac{n^3ab}{P} = 0$$

(b) 12,5 atm ve 286 K de 185 g $CO_2(g)$ kaç litre hacim kaplar? $CO_2(g)$ için $a = 3{,}61\ L^2$ atm mol^{-2} ve $b = 0{,}0429$ L mol^{-1} dir. [*İpucu*: Tahmini bir hacim elde etmek için ideal gaz denklemini kullanınız. Ardışık yaklaşım yöntemi ile doğru hacme ulaşınız. Ardışık yaklaşım yöntemi için Ek A, sayfa A5-A6 ya bakınız.]

122. CRC *Handbook of Chemistry and Physysics* (83. baskı) kitabına göre 280 K ve 10 MPa da $O_2(g)$ nin molar hacmi 0,2168 L mol^{-1}dir. (Not: 1MPa = 1×10^6 Pa.)

(a) 280 K de bir mol $O_2(g)$ nin hacmi 0,2168 L ise basıncını van der Waals eşitliğini kullanarak hesaplayınız. Hesaplanan basıncın % hatası nedir? van der Waals sabitleri $a = 1{,}382\ L^2$ bar mol^{-2} ve $b = 0{,}0319$ L mol^{-1} dir. **(b)** 280 K ve 10 MPa da 1 mol $O_2(g)$ nin hacmini ideal gaz denklemine göre hesapladığınızda % hata nedir?

123. $O_2(g)$ için özel bir hal denklemi aşağıdaki gibidir.

$$P\overline{V} = RT\left(1 + \frac{B}{\overline{V}} + \frac{C}{\overline{V}^2}\right)$$

$\overline{V}$ = molar hacimi göstermekte olup, $B = -21{,}89$ cm^3/mol ve $C = 1230\ cm^6/mol$ dür.

(a) Bu denklemi kullanarak 273 °C de 500 cm^3 hacim kaplayan 1 mol $O_2(g)$ nin basıncını hesaplayınız.

(b) (a) da hesaplanan değer Şekil 6-22 de O_2 için önerilen değer ile uyumlu mudur? Açıklayınız.

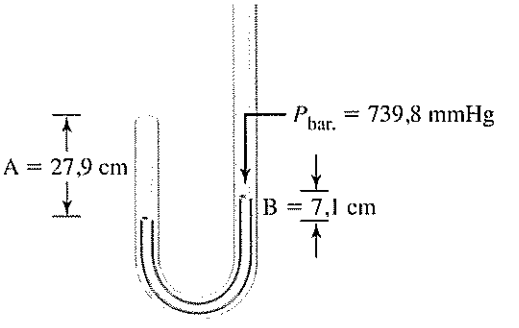
124. 0,156 g lık bir magnezyum–aluminyum alaşımı aşırı HCl(suda) de tamamen çözünmektedir. Açığa çıkan $H_2(g)$ 752 Torr barometre basıncında ve 5 °C de su üzerinde toplanmıştır. Gaz toplandıktan sonra su ve gaz yavaş yavaş ısınarak, sıcaklığı 23 °C ye ulaşmaktadır. Toplanan gazın barometre basıncı tekrar 752 Torr a geldiğinde hacmin 202 mL olduğu gözlenmiştir. Magnezyum–aluminyum alaşımının yüzde bileşimi ne kadardır? (Suyun buhar basıncı: 5 °C de 6,54 mmHg ve 23 °C de 21,07 mmHg dir).

Özellikli Problemler

125. Sağda Boyle düzeneğinin şekli gösterilmektedir. Deneyin başlangıcında soldaki hava sütununun (A) yüksekliği 30,5 cm dir ve tüpün kollarındaki civanın yükseklikleri eşittir. Tüpün sağdaki koluna civa ilave edildiğinde, civa seviyeleri (B) arasında fark oluşmakta ve soldaki tutuklanmış hava, tübün kısa koluna (daha az hacimli) itilmektedir. Örneğin, çizelgede, A = 27,9 cm ve B = 7,1 cm dir. A ve B nin santimetre olarak değerleri aşağıda verilmiştir:

A:	30,5	27,9	25,4	22,9	20,3
B:	0,0	7,1	15,7	25,7	38,3
A:	17,8	15,2	12,7	10,2	7,6
B:	53,8	75,4	105,6	147,6	224,6

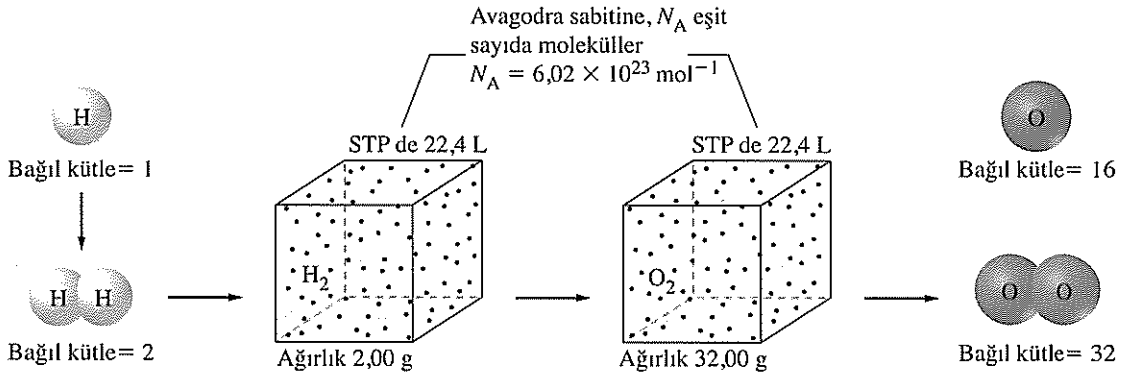
Deney sırasında barometre basıncı 739,8 mmHg dir. Hava sütununun yüksekliği (A) nın hava hacmi ile orantılı olduğunu kabul ederek, bu verilerin Boyle yasasına uyduğunu gösteriniz.



126. 1860 da Stanislao Cannizzaro, gaz halindeki bileşiklerin elementlerinin atom kütlelerini belirlemek için Avagadro varsayımının nasıl kullanılabileceğini göstermiştir. Cannizzaro, hidrojenin atom kütlesini tam olarak bir almış ve hidrojenin H_2 molekülleri halinde olduğunu (molekül kütlesi, 2) kabul etmiştir. Sonra, STP de 2 g $H_2(g)$ nin hacmini belirlemiştir. Bu hacim 22,4 L dir. Daha sonra, 22,4 L lik herhangi bir gazın 22,4 L lik $H_2(g)$ ile aynı sayıda moleküle sahip olduğunu varsaymıştır (Burada Avagadro var-

sayımı söz konusudur). Sonuçta, herhangi bir gazın 22,4 L lik kütlesinin 22,4 L lik $H_2(g)$ kütlesine oranının, onların molekül kütlerinin oranı ile aynı olduğunu açıklamıştır. Aşağıdaki şekil, Cannizzaro nun oksijenin atom kütlesinin 16 olmasının nedenini ortaya koymasını göstermektedir. Çizelgedeki bütün gazlar X elementini içermektedir. Molekül kütleleri Cannizzaro yöntemiyle bulunmuştur. Yüzde bileşim değerlerini kullanarak, her bir gaz molekülündeki X in atom kütlesini, X in atom sayısını bulunuz ve X in ne olduğunu belirleyiniz.

Bileşik	Mol Kütlesi (akb)	Kütlece Yüzde, X %
Nitril florür	65,01	49,4
Nitrosil florür	49,01	32,7
Tiyonil florür	86,07	18,6
Sülfüril florür	102,07	31,4



127. Bir fizikçi olan John Rayleigh gaz yoğunluklarını dikkatlice ölçtüğü bir araştırmasında $O_2(g)$ yoğunluğunu buldu. Oksijen yoğunluğunun havadan ya da bir bileşiğinden elde edilmesine bağlı olmadığını gördü. Ancak $N_2(g)$ da durum *farklıydı*. $N_2(g)$ yoğunluğu çeşitli bileşiklerden elde edildiği zaman değişmiyor, fakat havadan elde eldildiğinde farklı değer çıkıyordu. 1894 de Rayleigh kimyacı William Ramsey in yardımıyla bu sorunu, soy gazları keşfederek çözdü.
(a) Sizce niçin sıvı havadan elde edilen $N_2(g)$ un yoğunluğu bileşiklerinden elde edilen $N_2(g)$ un yoğnluğundan farklı çıkmıştır?
(b) Sizce hangi gazın yoğunluğu daha büyüktür; havadan elde edilen $N_2(g)$ mi, azotlu bileşiklerden elde edilen $N_2(g)$ mi? Açıklayınız.
(c) Ramsey havadan elde ettiği azot gazının bir gaz karışımı olduğunu düşünmüş ve magnezyumla tepkimeye sokarak magnezyum nitrür oluşturma yolunu seçmiştir. Bu deneyin önemini açıklayınız.
(d) 0,00 °C ve 1,00 atm de Rayleigh ın havadan elde ettiği $N_2(g)$ gazının ve azot bileşiklerinden elde ettiği $N_2(g)$ gazının yoğunlukları arasındaki *farkı yüzde* olarak hesaplayınız. (Havanın ana bileşenlerinin hacimce yüzdeleri: %78,084 N_2, %20,946 O_2, %0,934 Ar ve % 0,0379 CO_2.)

128. (6.14) eşitliğinden türetilen $d/P = M/RT$ denklemi, sabit sıcaklıktaki bir gazın yoğunluğunun basıncına oranının sabit olduğunu gösterir. $O_2(g)$ için 273,15 K deki değişik basınçlarda aşağıdaki gaz yoğunlukları elde edilmiştir.
(a) d/P değerlerini hesaplayınız ve 273,15 K de $O_2(g)$ için grafik veya başka bir yöntemle d/P nin ideal değerini bulunuz [*İpucu:* İdeal değer, ideal gaz ile bağlantılıdır.]
(b) Oksijenin atom kütlesinin tam değerini, (a) da bulduğunuz d/P değerini kullanarak hesaplayınız ve bu değeri ön kapağın iç kısmında verilen değer ile kıyaslayınız.

P, mmHg:	760,00	570,00	380,00	190,00
d, g/L:	1,428962	1,071485	0,714154	0,356985

129. Alet takımını (yük) taşıyan bir lastik balon $H_2(g)$ ile doldurulmuştur. Balon, gaz ve içindekilerin kütlesi, balonun kapladığı hacme karşılık gelen havanın kütlesinden az olduğundan, balon yükselir. Balon yükseldikçe genleşir. Aşağıdaki verilerden yararlanarak, küresel şekle sahip olan bu balonun yükselebileceği maksimum yüksekliği bulunuz. Balonun kütlesi 1200 g, taşıdığı yük 1700 g, balondaki $H_2(g)$ nin hacmi 0,00 °C ve 1,00 atm de 120 ft^3, balonun maksimum yüksekliktek çapı 25 ft dir. Hava basıncı ve sıcaklığın yükseklikle değişimi çizelgede verilmiştir.

Yükseklik, km	Basınç, mb	Sıcaklık, K
0	$1{,}0 \times 10^3$	288
5	$5{,}4 \times 10^2$	256
10	$2{,}7 \times 10^2$	223
20	$5{,}5 \times 10^1$	217
30	$1{,}2 \times 10^1$	230
40	$2{,}9 \times 10^0$	250
50	$8{,}1 \times 10^{-1}$	250
60	$2{,}3 \times 10^{-1}$	256

Kendi Kendini Deneme Soruları

130. Aşağıdaki terim ve simgeleri kendi ifadenizle tanımlayınız ya da açıklayınız: **(a)** atm; **(b)** STP; **(c)** R; **(d)** kısmi basınç; **(e)** $\sqrt{u^2}$.

131. Şu kavram ve işlemleri kısaca açıklayınız: **(a)** mutlak sıfır sıcaklığı; **(b)** bir gazın su üzerinde toplanması; **(c)** bir gazın efüzyonu; **(d)** birleşik hacimler yasası.

132. Aşağıdaki terimler arasında önemli ayrılıkları belirtiniz.
(a) Barometre ve manometre; **(b)** Celsius ve Kelvin sıcaklıkları; **(c)** ideal gaz eşitliği ve genel gaz eşitliği; **(d)** ideal gaz ve gerçek gaz.

133. Hangisi en büyük basıncı uygular? **(a)** 75,0 cm Hg(s) sütunu; **(b)** 10 mi yüksekliğinde hava sütunu; **(c)** 5,0 m CCl_4(s) sütunu ($d = 1{,}59$ g/mL); **(d)** STP de 10,0 g H_2(g)?

134. Sabit basınç ve sabit miktardaki bir gazın sıcaklığı 100 °C den 200 K e değişirse, gaz basıncı, **(a)** iki katına çıkar; **(b)** artar, fakat ilk basıncın iki katı değil; **(c)** azalır; **(d)** aynı kalır.

135. Bir cam kap, iç basıncı 2,0 bar veya üstünde olursa kırılıyor. Şayet kap 0°C ve 1,0 bar da kapatılır ve ısıtılırsa, hangi sıcaklıkta kırılır? Kabın ısıtıldığında genleşmediğini varsayınız.

136. Aşağıdaki seçeneklerden hangisi 25°C ve 1,5 atm de bir ideal gazın molar hacmini gösterir?
(a) $(298 \times 1{,}5/273) \times 22{,}4$ L; **(b)** 22,4 L;
(c) $(273 \times 1{,}5/298) \times 22{,}4$ L;
(d) $[298/(273 \times 1{,}5)] \times 22{,}4$ L;
(e) $[273/(298 \times 1{,}5)] \times 22{,}4$ L.

137. Hangi gaz STP de en büyük yoğunluğa sahiptir: (a) N_2O; **(b)** Kr; **(c)** SO_3; **(d)** Cl_2.

138. Bir ideal gazın Kelvin sıcaklığı iki katına çıkarılırsa (ör. 200 K den 400 K e), hız kareleri ortalaması karekökü $\sqrt{u^2}$ ne olur? **(a)** $\sqrt{u^2}$ $\sqrt{2}$ katı artar; **(b)** $\sqrt{u^2}$ 2 kat artar; **(c)** $\sqrt{u^2}$ 2 kat azalır; **(d)** $\sqrt{u^2}$; 4 kat artar. **(e)** $\sqrt{u^2}$ 4 kat azalır.

139. Aşağıdaki (a) dan (e) ye kadar olan ifadeleri göz önüne alınız. H_2(g) ve O_2(g) nin ideal davrandıklarını varsayınız. Verilen ifadelerin doğru ya da yanlış olduğunu belirtiniz. Yanlış ifadelerin doğru olabilmesi için nasıl değiştireceğinizi açıklayınız.
(a) Aynı basınç ve sıcaklık koşullarında O_2 moleküllerinin kinetik enerjisi H_2 moleküllerinden daha azdır.
(b) Aynı basınç ve sıcaklık koşullarında ortalama olarak H_2 molekülleri O_2 moleküllerinden daha hızlıdır.
(c) 25 °C ve 1 atm basınçta 1,00 mol H_2 gazının hacmi 22,4 L dir.
(d) Aynı basınç ve sıcaklıkta 2,0 g H_2(g) hacmi 32,0 g O_2(g) hacmine eşittir.
(e) P_{H_2} ve P_{O_2} kısmi basınçlarına sahip H_2 ve O_2 gazları karışımında toplam basınç P_{H_2} ve P_{O_2} den daha büyüktür.

140. Bir O_2(g) örneği 23 °C ve 751 Torr barometre basıncında su üstünde toplanıyor. Suyun 23 °C de buhar basıncı 21 mmHg dir. Toplanan O_2(g) gazının kısmi basıncı aşağıdakilerden hangisidir? **(a)** 21 mmHg: **(b)** 751 torr; **(c)** 0,96 atm; **(d)** 1,02 atm.

141. 0 °C ve 0,500 atm basınçta 4,48 L NH_3 gazı, **(a)** $6{,}02 \times 10^{22}$ molekül içerir; **(b)** 17,0 g kütleye sahiptir; **(c)** 0,200 mol NH_3 içerir; **(d)** 3,40 g kütleye sahiptir.

142. 0 °C de 1,60 g O_2(g) gazı içeren 2,24 L hacmindeki bir silindirin basıncını 2,00 atm yapmak için, **(a)** 1,60 g O_2 ilave edilir; **(b)** 0,60 g He(g) eklennir; **(c)** 2,00 g He(g) eklenir; **(d)** 0,80 g O_2(g) salınır.

143. CO ve hidrojen aşağıdaki eşitliğe göre tepkimeye girer.

$$3CO(g) + 7H_2(g) \longrightarrow C_3H_8(g) + 3H_2O(g)$$

12,0 L CO(g) ve 25,0 L H_2(g) gazı tepkimeye sokulursa, hangi tepkenden kaç litre artar? Her iki gazın hacimlerinin de aynı sıcaklık ve basınçta ölçüldüğünü varsayınız.

144. $5{,}0 \times 10^{-5}$ mol H_2(g) ve $5{,}0 \times 10^{-5}$ mol SO_2(g) 25 °C de 10,0 L lik bir kaba konuyor. Bu kapta iğne deliği kadar yerden sızıntı vardır. Belirli bir süre sonra, kaptaki H_2(g) nın kısmi basıncı ile ilgili olarak hangisi doğrudur? **(a)** SO_2(g) den daha düşük olur; **(b)** SO_2(g) e eşit olur; **(c)** SO_2(g) den daha fazla olur; **(d)** İlk karışımdakine eşit olur.

145. Hangi koşullarda Cl_2(g) hemen hemen ideal gaz gibi davranır? **(a)** 100 °C ve 10,0 atm basınçta; **(b)** 0 °C ve 0,50 atm de; **(c)** 200 °C ve 0,50 atm de; **(d)** 400 °C ve 10,0 atm de. Açıklayınız.

146. Çizelge 6.5 e bakmadan şöyleyiniz: aşağıdaki verilen gaz çiftlerinden hangisinde van der Waals sabiti a, daha büyük değere sahiptir? Hangisinde van der Waals sabiti b, daha büyüktür? **(a)** He ve Ne; **(b)** CH_4 ve C_3H_8; **(c)** H_2 ve Cl_2.

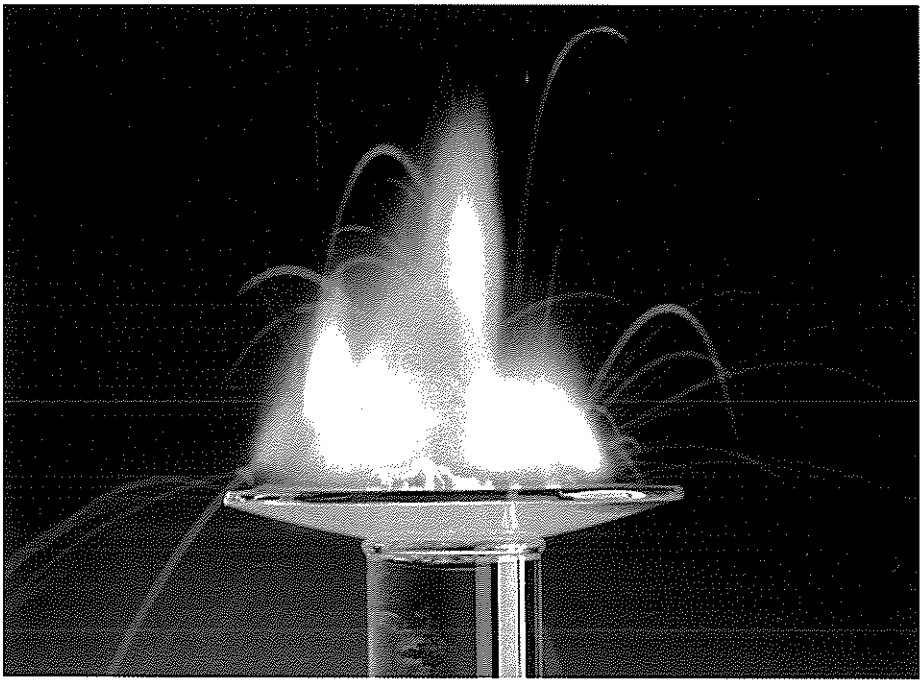
147. Bir barometrede cıva kolonun yüksekliğinin niçin barometre tüpünün çapından bağımsız olduğunu açıklayınız.

148. Kütlece % 82,7 C ve % 17,3 H den oluşan gaz halindeki bir hidrokarbonun 25 °C ve 752 Torr daki yoğunluğu 2,35 g/L dir. Bu hidrokarbonun molekül formülü nedir?

149. Bir hava örneğininin içerdiği N_2 moleküllerinin (kare olarak gösterin) ve O_2 moleküllerinin (yuvarlak olarak gösterin) gerçek oranlarıyla temsil edildiği bir kutu çiziniz. Hava içindeki CO_2(g) bileşiğini de tek bir işaretle göstermek için kaç tane kare, kaç tane yuvarlak çizmemiz gerekecekti? Havanın bileşimin daha doğru göstermek için kutuya başka ne eklememiz gerekir? [*İpucu*: Alıştırma 103 e bakınız.]

150. Ek E, kavram haritası olarak bilinen yararlı bir hedef çalışmayı açıklamaktadır. Ek E deki bu kavramını kullanarak, bu bölümde verilen tüm gaz yasalarının birbiriyle ilişkisini gösteren bir kavram haritası oluşturunuz.

Termokimya



Potasyum su ile tepkimeye girer ve açığa çıkan hidrojen gazını tutuşturmak için yeterli enerjiyi sağlar. Kimyasal tepkimelerde maddeler arası ısı aktarımı termokimyanın önemli bir konusudur.

İÇİNDEKİLER

7-1 Termokimyada Bazı Terimler
7-2 Isı
7-3 Tepkime Isısı ve Kalorimetri
7-4 İş
7-5 Termodinamiğin Birinci Yasası
7-6 Tepkime Isısı: ΔU ve ΔH
7-7 ΔH Değerinin Dolaylı Yoldan Belirlenmesi: Hess Yasası
7-8 Standart Oluşum Entalpileri
7-10 Enerji Kaynağı Olarak Yakıtlar

Doğal gaz başlıca metandır, CH_4. Bölüm 4 de öğrendiğiniz gibi, metan gibi hidrokarbonların tam yanısması sonucu karbon dioksit ve su oluşur. Bununla birlikte, bu tepkimenin daha önce sözünü etmediğimiz daha önemli bir "ürünü" de ısıdır. Bu ısıyı sıcak su elde etmekte, evleri ısıtmakta ve yemek pişirmekte kullanırız.

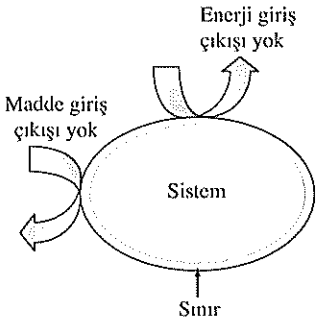
Termokimya; kimyanın kimyasal tepkimelere eşlik eden ısı ile ilgilenen bir dalıdır. Isı ile kimyasal ve fiziksel değişimler arasındaki bağlantıyı anlatmak için, bazı temel tanımları vermekle işe başlayacağız. Daha sonra ısı kavramını anlatacağız ve maddeler arası sınırlardan aktarılan enerjiyi ölçme yöntemlerini araştıracağız. Enerji aktarımının diğer bir biçimi de *iş*dir. Daha sonra *ısı* ile *işi* ilişkilendirip termodinamiğin birinci yasasını tanımlayacağız. Bu noktada tepkime ısısı, iç enerji değişimi ve entalpi arasında bir bağıntı kuracağız. İç enerji ve entalpi değişimini kullanarak, doğrudan veya dolaylı olarak, kimyasal ve fiziksel değişimlere eşlik eden enerji değişimlerinin hesaplanmasını göreceğiz. Sonuç olarak, bu bölümde öğreneceğimiz kavramlar yardımıyla, örneğin, doğal gazın

◀ Termokimya; geniş bir dal olan termodinamiğin bir alt dalıdır. Termodinamiği geniş olarak Bölüm 19 ve 20 de inceleyeceğiz.

niçin kömürden daha iyi bir yakıt olduğu ve neden yağların enerji değerinin karbonhidrat ve proteinlerden fazla olduğu gibi sorulara yanıt bulacaksınız.

7-1 Termokimyada Bazı Terimler

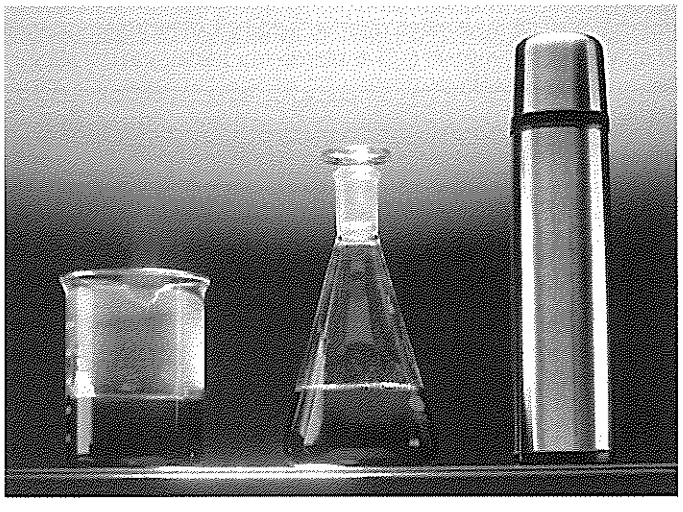
Bu kesimde bazı temel terimler ve bunların kısaca tanımları verilecek ve pek çoğu ilerideki kesimlerde daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Bu terimlerin anlamlarını bölüm içinde ilerledikçe daha iyi kavrayacaksınız.

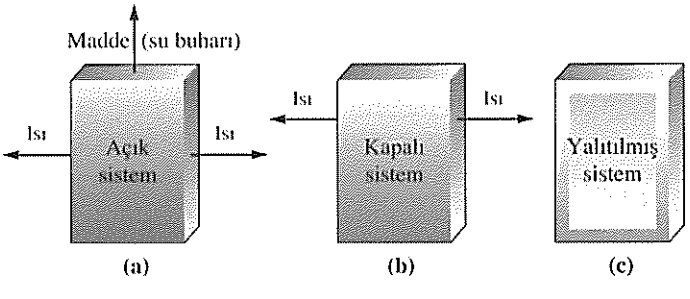


▲ Yalıtılmış sistem
Sistem ile çevre arasında ne madde, ne de enerji aktarımı vardır.

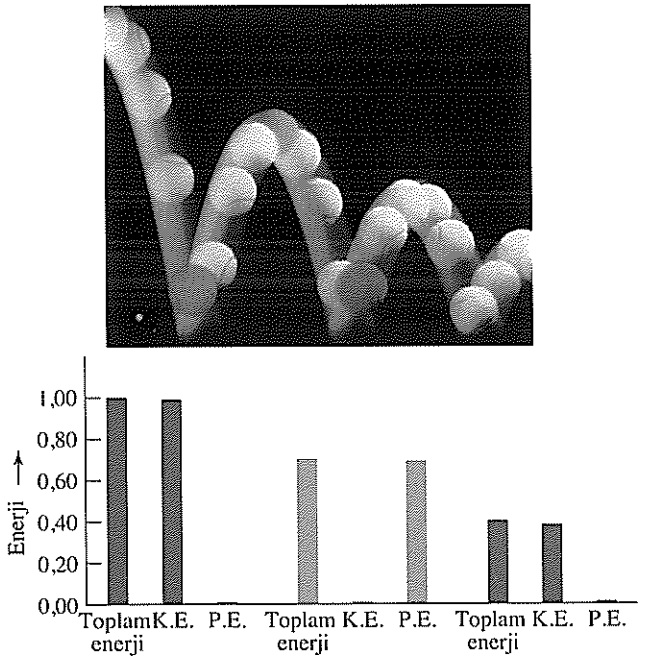
Evreni sistem ve çevresi olarak düşünelim. Evrenin incelenmek üzere seçilen bölümüne **sistem** adı verilir. Sistem yeryüzündeki okyanuslar kadar büyük olabileceği gibi, bir beherin içindekiler kadar küçük de olabilir. Bizim inceleyeceğimiz sistemlerin çoğunluğu küçük sistem olacak ve çalışmalarımızın çoğunu sistemle çevre arasındaki *enerji* (ısı ve iş) ve *madde* aktarımına yoğunlaştıracağız. Sistem dışında kalan ve sistemle etkileşen evren parçasına **çevre** adı verilir. Şekil 7-1 kimyacıların en sık kullandığı üç tip sistemi özet olarak göstermektedir. Şekil 7-1a daki sistem çevresiyle serbestçe enerji ve madde alışverişi yapabilen **açık sistem**dir. Şekil 7-1b deki sistem **kapalı bir sistem**dir; bu tip bir sistem çevresi ile enerji alışverişi yapabilir, fakat madde alışverişi yapamaz. Bu üç sistemden yalnızca **yalıtılmış sistem** çevresi ile etkileşimde bulunamaz. (Şekil 7-1c de yaklaşık olarak gösterilmiştir.)

Bu bölümün geri kalan kısmında, genel olarak enerjiyi ve enerji ile iş arasındaki ilişkiyi inceleyeceğiz. *Enerji* diğer birçok bilimsel terim gibi Yunanca'dan gelmiştir. Anlamı "içteki iş" tir. **Enerji**, iş yapabilme kapasitesidir. **İş**, bir kuvvetin herhangi bir cisme bir yol boyunca etkimesi ile yapılır. Hareketli bir cisim yavaşladığında ya da durduğunda iş yapar. Buna göre bir bilardo topu bir diğerine çarptığında onu harekete geçirir ve bir iş yapılır. Hareketli cismin enerjisine **kinetik enerji** denir. *Kinetik* sözcüğü Yunanca'da "hareket" demektir. İş ve enerji arasındaki ilişkiyi, bu büyüklüklerin birimlerini karşılaştırarak görebiliriz. Bir cismin kinetik enerjisi (e_k),





▶ ŞEKİL 7-1
Sistemler ve çevreleri
(a) *Açık sistem.* Beherde bulunan sıcak kahve soğurken, çevresine ısı verir; aynı zamanda su buharı şeklinde madde aktarımı olur.
(b) *Kapalı sistem.* Erlende bulunan sıcak kahve soğurken çevresine ısı verir. Kapağı kapalı olduğu için su buharı şeklinde madde aktarımı gerçekleşmez. **(c)** *Yalıtılmış sistem.* Yalıtılmış bir cam kapta (termos) bulunan kahve yaklaşık yalıtılmış bir sistemdir. Su buharı atmosfere kaçmaz ve çevreye çok az ısı salınır (kahve zamanla oda sıcaklığına kadar soğur).



◀ ŞEKİL 7-2
Potansiyel enerji (P.E.) ve kinetik enerji (K.E.)
Zıplayan tenis topunun enerjisi, sürekli olarak, potansiyel enerjiden kinetik enerjiye, sonra yeniden potansiyel enerjiye dönüşür. Bu böyle devam eder gider. Potansiyel enerjinin en yüksek değeri, her bir zıplamanın zirvesinde, kinetik enerjinin en yüksek değeri ise yere vurma anındadır. Her zıplamada P.E. ve K.E.'nin toplam değeri azalır, topun ve çevrenin termal enerjisi artar. Sonunda top durur. Yanda çubuklarla gösterilen grafik, zıplayan topun her bir konumundaki toplam enerjiye potansiyel ve kinetik enerjinin bağıl katkılarını gösterir. Kırmızı çubuklar kırmızı topa, yeşil çubuklar yeşil topa, mavi çubuklar mavi topa aittir.

aşağıdaki birinci eşitlikte verildiği gibi, kütlesine (m) ve hızına (u) bağlıdır. İş (w) ise ikinci eşitlikte verildiği gibi, kuvvet [kütle (m) × ivme (a)] ve kuvvetin uygulandığı yol (d) ile ilişkilidir.

$$e_k = \tfrac{1}{2}mu^2$$
$$w = m \times a \times d \qquad (7.1)$$

◀ Ek B-1 de tartıştığımız gibi ivmenin SI birimi ms^{-2} dir. Bu birimi daha önce (sayfa 194) görmüştük. Yerçekimi ivmesi g = 9,80665 ms^{-2}

Kütle, hız, ivme ve yol SI birimleri ile ifade edildiğinde, kinetik enerji ve işin birimi $kgm^2\ s^{-2}$ olur. Bu birim enerjinin SI birimine karşılık gelir, yani joule (J) olarak adlandırılır. 1 *joule* (J) = 1 $kgm^2\ s^{-2}$ dir.

Şekil 7-2 deki zıplayan top, enerji ve işin niteliği hakkında bilgi verebilir. Önce topu başlama konumuna (bırakma yüksekliğine) getirirken yerçekimine karşı bir kuvvet uygularız. Yaptığımız iş topta enerji şeklinde "depo" edilir. Bu depolanmış enerji ya da diğer bir deyişle "konum enerjisi" top serbest bırakıldığında bir iş yapabilme özelliğine sahiptir ve bu nedenle **potansiyel enerji** adını alır. **Potansiyel enerji**, cisimler arasındaki itme ya da çekme kuvvetlerinden, konumundan ya da bileşiminden ileri gelen bir enerji çeşididir.

◀ İş, ısı ve enerji birimi joule'dür. Ancak, iş ve ısı, enerji şekli değildir, bir sistemin enerjisinin değiştiği *süreçler*dir.

Yukarıdan bırakılan top, yerçekimi kuvveti tarafından yerin merkezine doğru çekilir ve düşer. Bu düşme sırasında potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşür. Top yere tam çarparken kinetik enerji en yüksek değerine ulaşır. Tekrar sıçradığında topun kinetik enerjisi azalır (top yavaşlar), potansiyel enerjisi artar (top yükselir). Top ile çarptığı yer arasındaki çarpışmalar, kinetik-molekül kuramındaki çarpışmalar gibi ideal *esnek* çarpışmalar ise, topun kinetik ve potansiyel enerji toplamı sabit kalır. Bu durumda, her zıplamada, top aynı yüksekliğe ulaşır ve sonsuza kadar zıplamaya devam eder. Ama biz topun sonsuza kadar zıplamadığını biliyoruz; top bir süre sonra durur. Topu başlangıç noktasına yükseltmek için kazandırılan potansiyel enerji, sonuçta kinetik enerjiye, topu çevreleyen havanın atom veya moleküllerine ve yüzeye aktarılır. Moleküllerin rastgele hareketleriyle ilgili bu kinetik enerjiye **termal enerji** denir.

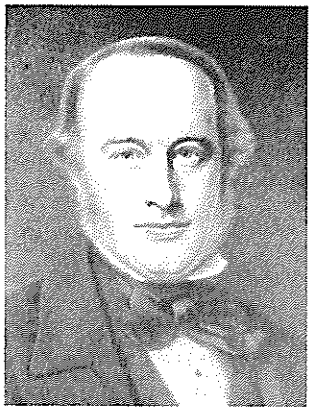
Genel olarak termal enerji, gazların kinetik kuramında önerildiği gibi, sistemin sıcaklığı ile orantılıdır. Sistemdeki moleküllerin hareketleri arttıkça, maddenin sıcaklığı daha da yükselir ve termal enerjisi daha fazla artar. Bununla beraber, bir sistemin termal enerjisi sistemde mevcut parçacık sayısına da bağlıdır. Örneğin 75°C deki bir fincan kahvenin termal enerjisi, daha düşük sıcaklıktaki (30°C) yüzme havuzunun enerjisinden daha

azdır. Bu nedenle sıcaklık ile termal enerji terimleri arasındaki farka dikkat edilmelidir. Bir uzaklık boyunca bir kuvvetin etkisinden ileri gelen iş ile, termal enerjinin bir aktarımı olan ısı arasındaki farkı bilmek çok önemlidir.

7-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki durumları dikkate alalım; bir dağ oyuğunda patlayan dinamit çubuğu, laboratuvarda yapılan bir asit baz titrasyonu, vanaları kapatılmış bir buhar makinesi. Bu belirtilen durumlar hangi tip termodinamik sistemlere karşılık gelir?

7-2 Isı



▲ James Joule (1818–1889)— Amatör bilim adamı
Joule'nın esas işi, bira işletmeciliği idi. Ancak evinde kurduğu laboratuvarda bilimsel araştırmalar da yapmaktaydı. Gerçekleştirdiği duyarlı ısı ölçümleri, enerjinin korunumu ilkesinin temelini oluşturmuştur.

Isı, sıcaklık farkının bir sonucu olarak, bir sistemle çevresi arasında aktarılan enerjidir. Sıcak bir cisimden soğuk bir cisme enerji aktarımı ısı şeklinde olur. Molekül düzeyinde düşünürsek, sıcak cismin molekülleri, çarpışma sonucu, soğuk cismin moleküllerine kinetik enerji aktarırlar: "ısı akışı" iki cismin ortalama kinetik enerjileri aynı, yani sıcaklıkları eşit oluncaya kadar devam eder. Isı da iş gibi bir sistem ile çevresi arasında alınıp verilen enerjidir.

Isı aktarımı sadece sıcaklığı değiştirmekle kalmaz, bazı durumlarda, maddenin halini de değiştirebilir. Örneğin bir katıyı ısıttığımız zaman, katının molekül, atom veya iyonları gittikçe daha hızlı hareket eder; komşularıyla aralarındaki çekim kuvvetlerini yenerek kopar ve ayrılırlar. Bu çekim kuvvetlerini yenmek enerji ister. Erime boyunca sıcaklık sabit kalır ve katıya verilen ısı enerjisi katıyı bir arada tutan kuvvetleri yenmek için kullanılır. Sabit sıcaklıkta cereyan eden bir işleme *izotermal* işlem denir. Katı tamamen eridiğinde aktarılan fazla ısı ise, sıvının sıcaklığını yükseltmek için kullanılır.

Çoğu kez "ısı kaybedilir", "ısı kazanılır", "ısı akışı olur", "sistem çevresine ısı verir" gibi ifadeleri kullanacaksınız. Ancak, bu ifadeleri bir sistemin ısı içerdiğini kastetmek için kullanmamalısınız. Sistemin sahip olduğu enerji, Kesim 7-5 de göreceğimiz gibi, *iç enerji*dir. Isı yalnızca sistem ile onun çevresi arasında, sınırdan *aktarılan* enerji çeşididir.

Bir maddenin sıcaklığını değiştirmek için gerekli ısı miktarı (q) şunlara bağlıdır:

- sıcaklığın ne kadar değiştirildiğine
- maddenin miktarına
- maddenin niteliğine (atom ya da molekül türüne)

Bir gram suyun sıcaklığını bir derece santigrat (Celsius) yükseltmek için gerekli ısı miktarına **kalori (cal)** denir. Kalori küçük bir enerji birimi olduğundan genellikle *kilokalori* (kcal) şeklinde kullanılır. SI birim sistemindeki ısı birimi ise joule (J) dür.

$$1\ \text{cal} = 4{,}184\ \text{J} \qquad (7.2)$$

Bu kitapta hemen hemen tümüyle joule kullanılacaktır. Bununla birlikte, kalori eski bilimsel kaynaklarda ve bazı bilim dallarında hala kullanılmaktadır. Bu nedenle, kalorinin anlamı açıkça bilinmelidir. Yiyeceklerin enerji içeriğini belirtmede kilokalori terimi yaygın olarak kullanılmaktadır. (Bölüm 7 www.masteringchemistry.com)

Bir sistemin sıcaklığını bir derece değiştirmek için gerekli ısı miktarına, o sistemin **ısı kapasitesi** denir. Eğer sistem bir mol madde ise ısı kapasitesi *molar ısı kapasitesi* adını alır. Eğer sistem bir gram madde ise ısı kapa-

sitesine *özgül ısı kapasitesi* ya da kısaca **özgül ısı*** adı verilir. Suyun özgül ısısı az da olsa sıcaklığa bağlıdır. 25°C de suyun özgül ısısı:

$$\frac{4{,}18\ \text{J}}{\text{g}\ ^\circ\text{C}} = 4{,}18\ \text{J g}^{-1}\ ^\circ\text{C}^{-1} \qquad (7.3)$$

Örnek 7-1 de ısı miktarının, madde miktarına, maddenin özgül ısısına ve sıcaklığına bağlı olarak nasıl hesaplanabileceği gösterilmektedir.

ÖRNEK 7-1 Isı Miktarının Hesaplanması

7,35 g suyun sıcaklığını 21,0 °C den 98,0 °C e yükseltmek için gerekli ısı miktarı ne kadardır? (Bu sıcaklık aralığında suyun özgül ısısını 4,18 J g^{-1} $°C^{-1}$ olarak kabul ediniz.)

Analiz

Bu soruyu yanıtlamaya özgül ısı ile suyun kütlesini çarparak, sistemin ısı kapasitesini bulmakla başlarız. İstenen sıcaklık aralığındaki gerekli ısı miktarını bulmak için de ısı kapasitesini sıcaklık farklı ile çarparız.

Çözüm

Bu özgül ısı 1,00 g suyun ısı kapasitesidir:

$$\frac{4{,}18\ \text{J}}{\text{g su}\ ^\circ\text{C}}$$

Sistemin (7,35g su) ısı kapasitesi,

$$7{,}35\ \text{g su} \times \frac{4{,}18\ \text{J}}{\text{g su}\ ^\circ\text{C}} = 30{,}7\ \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}$$

Sistemdeki sıcaklık değişimi,

$$(98{,}0 - 21{,}0)\ ^\circ\text{C} = 77{,}0\ ^\circ\text{C}$$

dir.

Bu sıcaklık değişimini sağlamak için gerekli ısı miktarı,

$$30{,}7\ \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}} \times 77{,}0\ ^\circ\text{C} = 2{,}36 \times 10^3\ \text{J}$$

dür.

Değerlendirme

Özgül ısının madde miktarına bağlı olduğunu hatırlayınız. Sıcaklık değişiminin son sıcaklıktan ilk sıcaklığın çıkarılması ile belirlenebileceğine dikkat ediniz. Bu, daha sonraki bölümde görüleceği gibi, ısı değerinin işaretini belirlemede bu önemlidir.

ALIŞTIRMA A: 237 g buzlu suyun sıcaklığını 4,0 den 37 °C a (vücut sıcaklığı) çıkarmak için kaç kilojoule (kJ) ısı gereklidir?

ALIŞTIRMA B: 2,5 kg Hg(s) nın sıcaklığını –20,0 °C dan –6,0 °C a yükseltmek için kaç kilojoule (kJ) ısı gereklidir? Hg(s) nın yoğunluğunu 13,6 g/mL ve mol ısı kapasitesini 28,0 J $mol^{-1}°C^{-1}$ olarak kabul ediniz.

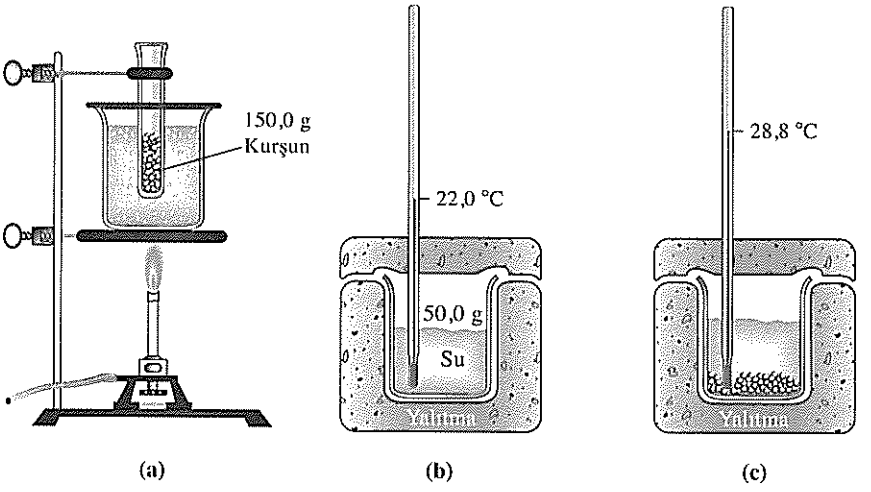
Örnek 7-1 de kullanılan çizgi hesabı mantığı aşağıda verilen eşitlikle (7.5) özetlenebilir. Bu eşitlik maddenin kütlesi, sıcaklık değişimi ve ısı miktarı arasındaki ilişkiyi gösterir.

$$\text{ısı miktarı} = \underbrace{\text{madde kütlesi} \times \text{özgül ısı}}_{\text{ısı kapasitesi} = C} \times \text{sıcaklık değişimi} \qquad (7.4)$$

$$q = m \times \text{özgül ısı} \times \Delta T = C \times \Delta T \qquad (7.5)$$

◀ Yunanca delta, Δ harfi bir büyüklükteki *değişimi* gösterir.

*Özgül ısı aslında bir *orandır*. Yani, bir madde kütlesinin sıcaklığını değiştirmek için gerekli ısı miktarının, aynı kütledeki suyun sıcaklığını aynı miktarda değiştirmek için gerekli ısı miktarına oranıdır. Özgül ısı bir oran olduğu için birimsizdir. Ancak burada verilen anlamıyla kullanımı daha yaygındır.



▶ ŞEKİL 7-3
Kurşunun özgül ısısının belirlenmesi -Örnek 7-2 nin gösterimi
(a) 150,0 g lık kurşun örneği suyun kaynama sıcaklığına (100,0 °C) kadar ısıtılır. **(b)** Isıya karşı yalıtılmış bir behere 50,0 g su konulur ve sıcaklığı ölçülür (22,0 °C). **(c)** Sıcak kurşun soğuk su içine atılır ve kurşun-su karışımının son sıcaklığı (28,8 °C) ölçülür.

▶ > simgesi " daha büyük" < simgesi "daha küçük" demektir.

Eşitlik (7.5) de sıcaklık değişimi $\Delta T = T_s - T_i$ şeklinde ifade edilir. Burada T_s son sıcaklık, T_i ilk sıcaklıktır. Sistemin sıcaklığı artarsa $T_s > T_i$ olur ve ΔT *pozitifdir*. q nun pozitif olması ısının soğurulduğunu ya da sistem tarafından *kazanıldığını* belirtir. Sistemin sıcaklığı azalırsa ($T_s < T_i$) bu durumda ΔT *negatifdir*. Negatif q değeri ısı açığa çıktığını ya da *ısı kaybedildiğini* belirtir.

Isı enerjisinin hesaplanmasında kullanılan diğer bir kavram **enerjinin korunumu yasasıdır**: Sistem ve çevresi arasındaki etkileşimlerde toplam enerji *sabit* kalır, enerji yoktan var edilemez, var olan enerji yok edilemez. Bu yasa aşağıdaki biçimde, ısı değişimlerine uygulanabilir.

$$q_{\text{sistem}} + q_{\text{çevre}} = 0 \qquad (7.6)$$

Buna göre, bir sistemin *kazandığı* ısı çevresi tarafından *kaybedilir*, ya da tersi olur.

$$q_{\text{sistem}} = -q_{\text{çevre}} \qquad (7.7)$$

Özgül Isıların Deneysel Belirlenmesi

Şekil 7-3 de verilen deney yardımıyla enerjinin korunumu yasasının nasıl kullanıldığını görelim. Deneyde amaç, kurşun metalinin özgül ısısını belirlemektir. Kurşundan daha soğuk olan suya enerji geçişi kurşunun sıcaklığının azalmasına, suyun sıcaklığının artmasına neden olur. Bu sıcaklık artması ve azalması, su ile kurşunun sıcaklıkları birbirine eşit oluncaya kadar devam eder. Burada kurşun ya da sudan birisi sistem olarak alınabilir. Kurşunu sistem kabul edersek, $q_{\text{kurşun}} = q_{\text{sistem}}$ yazabiliriz. Eğer kurşun ve su ısısal olarak yalıtılmış bir kapta ise, $q_{\text{su}} = q_{\text{çevre}}$ alabiliriz. Eşitlik (7.7) yi uygularsak,

$$q_{\text{kurşun}} = -q_{\text{su}} \qquad (7.8)$$

olacaktır. Bu deneyle ilgili hesaplamalar Örnek 7-2 de verilmiştir.

ÖRNEK 7-2 Deneysel Veriler Yardımıyla Özgül Isının Belirlenmesi

Kurşunun özgül ısısını Şekil 7-3 deki veriler yardımıyla hesaplayınız.

Analiz

Beş büyüklükten (q, m, özgül ısı, T_s, T_i) dördünü bilirsek, eşitlik (7.5) i kullanarak kalan büyüklüğü bulabileceğimizi hatırınızda tutunuz. Şekil 7-3 den, belirli bir miktardaki kurşunun ısıtıldığını ve bilinen bir sıcaklık ve miktardaki suya daldırıldığını biliyoruz. Sistem dengeye geldiğinde suyun sıcaklığı son sıcaklıktır. Bu tip sorularda eşitlik (7.5) i kullanacağız.

Çözüm

Önce, q_{su} değerini hesaplamak için (7.5) eşitliğini kullanırız:

$$q_{su} = 50{,}0\ \text{g su} \times \frac{4{,}18\ \text{J}}{\text{g su °C}} \times (28{,}8 - 22{,}0)\ \text{°C} = 1{,}4 \times 10^3\ \text{J}$$

Eşitlik (7.8)'den,

$$q_{\text{kurşun}} = -q_{su} = -1{,}4 \times 10^3\ \text{J buluruz.}$$

Şimdi, tekrar eşitlik (7.5)'i kullanarak,

$q_{\text{kurşun}}$ =150 g kurşun × kuşunun özgül ısısı × (28,8 − 100 °C)= $-1{,}4 \times 10^3$ J elde ederiz.

$$\text{kurşunun özgül ısı} = \frac{-1{,}4 \times 10^3\ \text{J}}{150{,}0\ \text{g kurşun} \times (28{,}8 - 100{,}0)\ \text{°C}} = \frac{-1{,}4 \times 10^3\ \text{J}}{150{,}0\ \text{g kurşun} \times -71{,}2\ \text{°C}} = 0{,}13\ \text{J g}^{-1}\ \text{°C}$$

Değerlendirme

Fark etmeniz gereken anahtar kavram, ısı şeklindeki enerjinin kurşundan (bizim sistemimiz) suya (çevrenin bir parçası) aktarılmasıdır. Problemi doğru çözüp çözmediğinizi kontrol etmenin hızlı yolu, yanıtın işaretine bakmaktadır. Özgül ısı için yanıt her zaman pozitif ve birimi J g^{-1} $°C^{-1}$ olmalıdır.

ALIŞTIRMA A: 100 °C de, 1,00 kg kurşun (özgül ısısı = 0,13J g^{-1} $°C^{-1}$) parçası 28,5 °C de bir miktar suya konuluyor. Kurşun-su karışımının son sıcaklığı 35,2 °C olarak bulunduğuna göre, karışımdaki suyun kütlesini bulunuz.

ALIŞTIRMA B: 100 °C de 100,0 g bakır (özgül ısısı = 0,385 $Jg^{-1}°C^{-1}$) parçası 26,5 °C de 50,0 g suya konuluyor. Bakır-su karışımının son sıcaklığını bulunuz.

7-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

En az sayıda hesaplama yaparak 10,00 °C de 100 mL su 70,00 °C de 200 mL suya eklendiğinde son sıcaklığı bulunuz. Hesaplamalarınızı yaparken hangi temel kavramları ve kabulleri yaptınız?

Bazı Maddelerin Özgül Isıları

Çizelge 7.1 de bazı maddelerin özgül ısıları verilmiştir. Maddelerin çoğunun özgül ısısı 1 J $g^{-1}°C^{-1}$ den azdır. Birkaç maddenin ve $H_2O(s)$ nun özgül ısısı oldukça büyüktür. Sıvı suyun özgül ısısının büyük olmasını açıklayabilir miyiz? Yanıtımız kesin olarak evettir, ancak açıklaması henüz tartışmadığımız konulara dayanır. Su molekülleri hidrojen bağları (Bölüm 12 de incelenmiştir) yapar. Suyun yüksek özgül ısıya sahip olmasının önemli nedenlerinden bir kısmı, bu hidrojen bağlarına dayanır.

Bileşikler, molekül seviyelerinin karmaşıklığından dolayı; iç enerjiyi elementlere göre daha çok depolayabilirler; dolayısıyla da daha yüksek özgül ısıya sahiptirler. Diğer taraftan suyun özgül ısısı kurşunun özgül ısısından 30 kat daha fazladır. Kurşunla aynı kütledeki suyun sıcaklığını, aynı miktarda değiştirmek için, çok daha fazla ısıya gereksinim vardır

Suyun özgül ısısının yüksek olmasının çevresel etkisi, göllerin fazlaca bulunduğu bölgelerin iklimlerinde görülebilir. Göller, yazın daha uzun sürede ısınırlar, kışın da daha uzun sürede soğurlar. Bu nedenle, göl kıyısında yaşayan insanlar göllerden uzak yaşayanlara kıyasla, yazı daha serin ve kışı daha ılıman geçirirler.

7-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Aynı kütlede iki cisim alevle ısıtıldığında aynı miktar enerjiyi soğurur, fakat cisimlerden birinin sıcaklığı diğerine kıyasla daha fazla yükselir. Hangi cismin özgül ısısı daha yüksektir?

ÇİZELGE 7.1 Bazı Özgül Isı Değerleri J g^{-1} $°C^{-1}$

Katılar	
Pb(k)	0,130
Cu(k)	0,385
Fe(k)	0,449
S_8(k)	0,708
P_4(k)	0,769
Al(k)	0,897
Mg(k)	1,023
H_2O(k)	2,11
Sıvılar	
Hg(s)	0,140
Br_2(s)	0,474
CCl_4(s)	0,850
CH_3COOH(s)	2,15
CH_3CH_2OH(s)	2,44
H_2O(s)	4,18
Gazlar	
CO_2(g)	0,843
N_2(g)	1,040
C_3H_8(g)	1,67
NH_3(g)	2,06
H_2O(g)	2,08

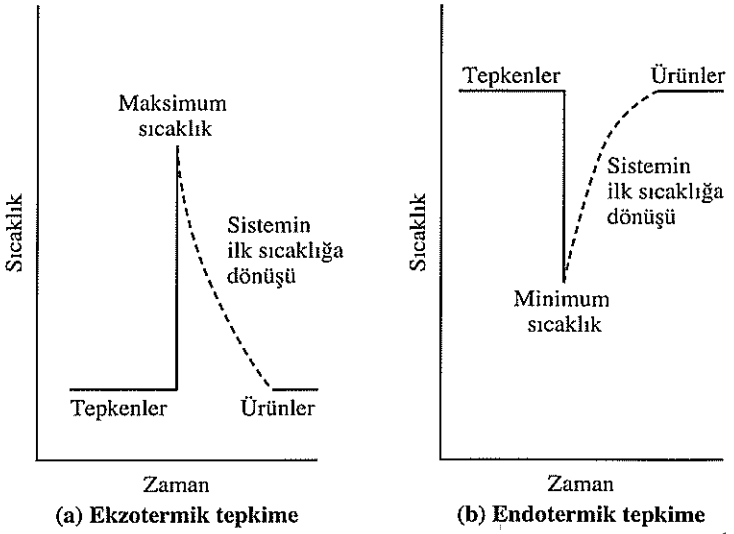
Kaynak: CRC Kimya ve Fizik El Kitabı, 90. Baskı, David R. Lide (ed.), Boca Raton, FL; Taylor & Francis Grup, 2010.

7-3 Tepkime Isısı ve Kalorimetri

Kesim 7-1 de, moleküllerin gelişigüzel hareketlerinden ileri gelen kinetik enerji, yani *termal enerji ile tanışmıştık.* Sistemin iç enerjisine katkıda bulunan diğer bir enerji türü de **kimyasal enerji**dir. Bu enerji türü kimyasal bağlar ve moleküller arası çekimlerle ilgilidir. Eğer bir kimyasal tepkimeyi bazı kimyasal bağların kırıldığı ve bazı kimyasal bağların da oluştuğu bir olay olarak düşünürsek, kimyasal tepkime sonucunda sistemin enerjisinin değişmesini bekleyebiliriz. Ayrıca, bu enerji değişiminin ısı şeklinde görünebileceğini de umabiliriz. **Tepkime ısısı,** q_{tep}, *sabit sıcaklıkta* yürüyen bir kimyasal tepkimede sistem ile çevresi arasında alınıp verilen ısı miktarıdır. Üzerinde en çok çalışılan kimyasal tepkimelerden biri yanma tepkimesidir. Bu tür yanma tepkimelerinde açığa çıkan ısıya *yanma ısısı* denir.

Bir tepkime *yalıtılmış* bir sistemde gerçekleşirse, yani çevresi ile madde ve enerji alışverişinde bulunmazsa, sistemin termal enerjisinde değişme meydana gelir, sıcaklık artar ya da azalır. Şimdi, bu yalıtılmış sistemin çevresi ile etkileşimde bulunmasına izin verildiğini düşünelim. Bu durumda tepkime ısısı, sistemin başlangıçtaki sıcaklığına dönmesi için çevresi ile alıp verdiği ısı miktarıdır (Şekil 7-4). Aslında sistemi fiziksel olarak ilk sıcaklığına getiremeyiz. Ancak sistemi ilk durumuna *döndürebilecek* ısı miktarını hesaplayabiliriz. Bunu, bir termometreyi sisteme daldırarak ve tepkime tarafından meydana getirilen sıcaklık değişimlerini kaydederek yapabiliriz. Daha sonra sıcaklık değişimini ve diğer sistem verilerini kullanarak, sabit sıcaklıkta gerçekleşecek tepkimenin ısısını hesaplarız.

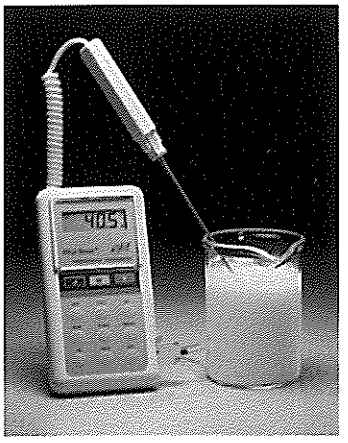
Tepkime ısıları ile ilişkili yaygın olarak kullanılan iki terim; ekzotermik ve endotermik tepkimelerdir. Yalıtılmış bir sistemde sıcaklık artışına neden olan ya da yalıtılmamış bir sistemde çevreye ısıveren bir tepkimeye **ekzotermik tepkime** denir. Ekzotermik bir tepkimede, tepkime ısısı negatif ($q_{tep} < 0$) bir büyüklüktür. Yalıtılmış bir sistemde sıcaklığın azalmasına neden olan ya da yalıtılmamış bir sistemde çevreden ısıalan bir tepkimeye de **endotermik tepkime** denir. Bu durumda tepkime ısısı pozitif ($q_{tep} > 0$) bir büyüklüktür. Tepkime ısıları, ısı miktarlarını ölçmeye yarayan bir düzenek olan **kalorimetre** ile deneysel olarak tayin edilebilirler. Bu kesimde, her ikisi de *yalıtılmış* sistem olan iki tip kalorimetreyi inceleyeceğiz.



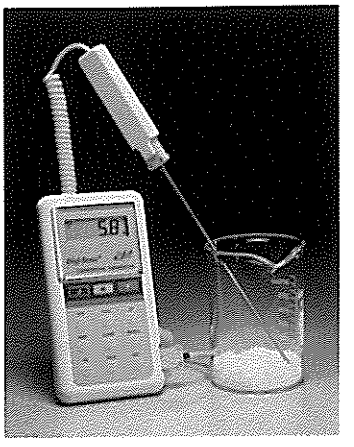
▶ ŞEKİL 7-4

Sabit Sıcaklıkta Tepkime Isısı Kavramı

Ekzotermik ve endotermik tepkimeler için düz çizgiler, ilk sıcaklıkları ve yalıtılmış bir sistemdeki ulaşılan maksimum **(a)** ve minimum **(b)** sıcaklıkları göstermektedir. Kesikli çizgiler sistemi ilk sıcaklığına dönüştürecek yolları göstermektedir. Tepkime ısısı, bu dönüşümde sistem tarafından kaybedilen veya kazanılan ısı miktarıdır.



(a)



(b)

◀ Ekzotermik ve endotermik tepkimeler
(a) Ekzotermik bir tepkime. Sönmemiş kireç (CaO) üzerine suyun eklenmesiyle sönmüş kireç, $Ca(OH)_2$ meydana gelir. Tepkenler oda sıcaklığında karıştırılır, ancak karışımın sıcaklığı 40,5 °C a yükselir.

$$CaO(k) + H_2O(s) \longrightarrow Ca(OH)_2(k)$$

(b) Endotermik bir tepkime. $Ba(OH)_2 \cdot 8\,H_2O(k)$ ve $NH_4Cl(k)$ oda sıcaklığında karıştırılır ve sıcaklık 5,8 °C a düşer.

$$Ba(OH)_2 \cdot 8\,H_2O(k) + 2\,NH_4Cl(k) \longrightarrow$$
$$BaCl_2 \cdot 2\,H_2O(k) + 2\,NH_3(suda) + 8\,H_2O(s)$$

Kalorimetre Bombası

Şekil 7-5 de verilen kalorimetre çeşidine **kalorimetre bombası** denir ve yanma tepkimelerinde açığa çıkan ısıyı ölçmede kullanılır. Kalorimetrenin çift cidarlı ceketi içinde bulunanlar, *sistemi* meydana getirirler. Bunlar bombanın kendisi, su, termometre, karıştırıcı ve diğerleridir. Sistem çevresinden *yalıtılmıştır*. Yanma tepkimesi gerçekleştiğinde, kimyasal enerji ısı enerjisine dönüşür ve sistemin sıcaklığı artar. Tepkime ısısı, q_{tep}, daha önce de belirtildiği gibi, sistemin başlangıç sıcaklığına ve basıncına dönebilmesi için çevresine *vermesi* gereken ısı miktarıdır. Bu ısı miktarı, tepkimenin gerçekleşmesi sonucu açığa çıkan ve kalorimetrenin sıcaklığını arttıran termal enerjinin (q_{kal}) *negatif* işaretlisidir.

$$q_{tep} = -q_{kal} \text{ (burada, } q_{kal} = q_{bomba} + q_{su} + \dots) \qquad (7.9)$$

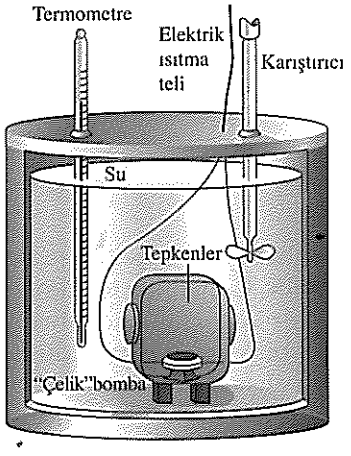
Kalorimetreyi her defasında aynı şekilde kurarsak (aynı miktar su *v.b.* kullanarak), *kalorimetrenin ısı kapasitesini* bulabiliriz. Bu değer, kalorimetre düzeneğinin sıcaklığını 1 °C yükseltmek için gerekli ısı miktarıdır. Bu ısı kapasitesi, gözlenen sıcaklık değişimi ile çarpılırsa, q_{kal} elde edilir.

$$q_{kal} = \text{kalorimetrenin ısı kapasitesi} \times \Delta T \qquad (7.10)$$

q_{kal} yardımıyla q_{tep} değerinin nasıl hesaplanacağı Örnek 7-3 de sakkarozun (şeker) yanma ısısının belirlenmesi deneyi ile verilmiştir.

UNUTMAYINIZ
Tepkime karışımının sıcaklığı genellikle tepkime sırasında değiştiğinden, çevre ile olan ısı alışverişi hesaplanırken karışım, başlangıçtaki sıcaklığa (gerçekte veya hipotetik olarak) getirilmelidir.

◀ Kalorimetrenin ısı kapasitesi deneysel olarak belirlenmelidir.



◀ ŞEKİL 7-5
Kalorimetre bombası düzeneği
Bombanın alt kısmında bulunan örneğe bir demir tel daldırılır. Bomba düzeneği yüksek basınçlı $O_2(g)$ ile doldurulur ve suya daldırılır. Başlangıç sıcaklığı ölçülür. Numune elektrik akımıyla ısıtılarak ateşlenir. Yanmadan sonra kalorimetre düzeneğinin sıcaklığı yeniden ölçülür. Kalorimetrede tepkime karışımının hacmi sabit olduğundan, tepkime *sabit hacimde* gerçekleşti denilir. Bu durumun önemi sayfa 259 da tartışılacaktır.

ÖRNEK 7-3 Tepkime Isısının Kalorimetre Bombasıyla Belirlenmesi

1,010 g sakkarozun, $C_{12}H_{22}O_{11}$, yakılması kalorimetrenin sıcaklığını 24,92 °C den 28,33 °C ye yükseltmektedir. Kalorimetrenin ısı kapasitesi 4,90 kJ/°C olduğuna göre, **(a)** sakkarozun yanma ısısı kJ/mol $C_{12}H_{22}O_{11}$ cinsinden ne kadardır? **(b)** Bir çay kaşığı (yaklaşık 4,8 g) şekerin "yalnızca 19 Kalori (besin kalorisi) içerdiğini" doğrulayınız.

Analiz

Bize özgül ısı, ilk ve son sıcaklıklar olmak üzere iki sıcaklık değeri veriliyor. Bu durumda (7.5) eşitliğini kullanırız. Bu tür deneylerde, tepkimenin neden olduğu çevredeki sıcaklık değişimi ölçülerek, ısı miktarı bulunur. Bunun anlamı $q_{tep} = -q_{kal}$ dır.

Çözüm

(a) Önce eşitlik (7.10) u kullanarak q_{kal} değerini hesaplayınız.

$$q_{kal} = 4{,}90\ \text{kJ/°C} \times (28{,}33 - 24{,}92)\text{°C} = (4{,}90 \times 3{,}41)\ \text{kJ} = 16{,}7\ \text{kJ}$$

Şimdi, eşitlik (7.9) u kullanarak

$$q_{tep} = -q_{kal} = -16{,}7\ \text{kJ}$$

elde ederiz. Bu değer 1,010 g lık örneğin yanma ısısıdır.

Bir gram $C_{12}H_{22}O_{11}$ için:

$$q_{tep} = \frac{-16{,}7\ \text{kJ}}{1{,}010\ \text{g}\ C_{12}H_{22}O_{11}} = -16{,}5\ \text{kJ/g}\ C_{12}H_{22}O_{11} \quad \text{dir.}$$

Bir mol $C_{12}H_{22}O_{11}$ için:

$$q_{tep} = \frac{-16{,}5\ \text{kJ}}{\text{g}\ C_{12}H_{22}O_{11}} \times \frac{342{,}3\ \text{g}\ C_{12}H_{22}O_{11}}{1\ \text{mol}\ C_{12}H_{22}O_{11}} = -5{,}65 \times 10^3\ \text{kJ/mol}\ C_{12}H_{22}O_{11}$$

(b) Sakkarozun kalori değerini bulmak için, (a) da bulduğumuz bir gram sakkaroz için bulunan yanma ısısını ve kJ değerini kcal değerine çeviren faktörü kullanınız (1 cal = 4,184 J olduğundan, 1 kcal = 4,184 kJ dur.)

$$?\ \text{kcal} = \frac{4{,}8\ \text{g}\ C_{12}H_{22}O_{11}}{\text{tsp}} \times \frac{-16{,}5\ \text{kJ}}{\text{g}\ C_{12}H_{22}O_{11}} \times \frac{1\ \text{kcal}}{4{,}184\ \text{kJ}} = \frac{-19\ \text{kcal}}{\text{çay kaşığı}}$$

1 besin Kalorisi (1 Kalori, büyük K ile) tam 1000 cal, yani 1 kcal dir. Öyleyse, 19 kcal = 19 Kaloridir. Böylece bir çay kaşığı şekerde 19 Kalori bulunduğu kanıtlanmış olmaktadır.

Değerlendirme

Yanma tepkimeleri ekzotermik tepkimelerdir. Enerji ısı şeklinde sistemden çevreye akar. Bu nedenle de yanma ısısının, q, işareti negatiftir.

ALIŞTIRMA A: Vanilin, vanilyanın doğal öğesidir ve yapay vanilya tadı vermek için kullanılır. 1,013 g vanilinin, $C_8H_8O_3$, Örnek 7-3 deki gibi bir kalorimetrede yakılması sonucu sıcaklık 24,89 °C dan 30,09 °C ye yükselmiştir. Vanilinin yanma ısısını kJ/mol olarak bulunuz.

ALIŞTIRMA B: Benzoik asidin yanma ısısı –26,42 kJ/g dır. 1,176 g benzoik asit ($HC_7H_5O_2$) örneği kalorimetre bombasında yakıldığında, sıcaklık 4,96°C *yükseldiğine* göre, düzeneğin (kalorimetre) ısı kapasitesi nedir?

"Kahve Fincanı" Kalorimetresi

Genel kimya laboratuvarlarında kalorimetre bombası yerine Şekil 7-6 da (S 252 de) görülen basit bir kalorimetre kullanılabilir. Genellikle tepkenlerin sulu çözeltileri poliüretan köpükten yapılmış bir kap içinde karıştırılır ve sıcaklık değişimi ölçülür. Poliüretan köpük iyi bir ısı yalıtkanı olduğu için, kap ile çevresindeki hava arasında çok az ısı alışverişi olur. Bu yüzden de fincan ve içeriğini, *yalıtılmış* bir sistem olarak düşünmek mümkündür.

Tepkime ısısını, kalorimetre bombasında olduğu gibi, kalorimetreyi ilk sıcaklık ve basıncına getirebilmek için çevre ile alınıp verilecek ısı miktarı şeklinde tanımlayabiliriz. Fakat yeniden belirtmeliyiz ki, fiziksel olarak kalorimetre ilk koşullarına döndürülemez. Tepkime ısısını, yalnızca, kalorimetredeki sıcaklık değişimini sağlayan ısı miktarının negatif işaretlisi olarak alır ve (7.9) eşitliğini kullanabiliriz: $q_{tep} = -q_{kal}$.

Örnek 7-4 de hesaplamayı basitleştirmek için bazı kabuller yapılmıştır. Daha duyarlı ölçümlerde bu kabuller yapılmaz (Alıştırma 25).

ÖRNEK 7-4 Kalorimetre Verilerini Kullanarak Tepkime Isısının Belirlenmesi

Kuvvetli bir asidin kuvvetli bir bazla nötürleşmesi, asitten gelen H^+(suda) ile bazdan gelen OH^-(suda) iyonlarının su vermek üzere oluşturduğu bir tepkimedir (s. 165).

$$H^+(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow H_2O(s)$$

Her ikisi de 21,1 °C de olan 25,00 mL 2,50 M HCl(suda) ve 25,00 mL 2,50 M NaOH(suda) çözeltisi poliüretan köpükten yapılmış bir kalorimetre kabına konuluyor ve tepkime gerçekleştiriliyor. Tepkime sonunda sıcaklığın 37,8 °C ye yükseldiği görülüyor. Oluşan 1 mol H_2O başına nötürleşme tepkimesinin ısısını hesaplayınız? Bu tepkime ekzotermik mi, yoksa endotermik midir?

Analiz

Kalorimetrenin yalıtılmış bir sistem ve ısıyı soğuracak suyun 50,0 mL (sulu asit ve baz çözeltilerinin toplam hacmi) olduğunu kabul ediniz. Bu kabul ile, q_{kal} değerinin hesaplanmasında, tepkime sonucu oluşan 0,0625 mol H_2O ve NaCl yi ihmal ediyoruz. Ayrıca, tepkime ile oluşan NaCl(suda) sulu çözeltisinin yoğunluğu tam 1,00 g/mL ve özgül ısısı tam 4,18 J g^{-1} $°C^{-1}$ değildir. Köpükten yapılmış kabın küçük olan ısı kapasitesini de ihmal edebiliriz.

Bu tepkime bir nötürleşme tepkimesi olduğu için, tepkime ısısına $q_{nötr}$ dersek, (7.9) eşitliğine göre, $q_{nötr} = -q_{kal}$ dir. Yukarıdaki kabulleri dikkate alarak problemi çözebiliriz.

Çözüm

Önce q_{kal} ve $q_{nötr}$ değerlerini şöyle hesaplarız.

$$q_{kal} = 50,00\,mL \times \frac{1,00\,g}{mL} \times \frac{4,18\,J}{g\,°C} \times (37,8 - 21,1)\,°C = 3,5 \times 10^3\,J$$

$$q_{nötr} = -q_{kal} = -3,5 \times 10^3\,J = -3,5\,kJ$$

25,0 mL 2,50 M HCl içinde H^+ miktarı

$$?\,mol\,H^+ = 25,00\,mL \times \frac{1\,L}{1000\,mL} \times \frac{2,50\,mol}{1\,L} \times \frac{1\,mol\,H^+}{1\,mol\,HCl} = 0,0625\,mol\,H^+ \text{ dır.}$$

Benzer şekilde, 25,0 mL 2,50 M NaOH içinde 0,0625 mol OH^- vardır. Buna göre, H^+ ve OH^- iyonlarından 0,0625 mol H_2O meydana gelir. (Bunlar *stokiyometrik* oranlardadır ve artan madde yoktur.)

Oluşan bir mol su başına ısı miktarı ise;

$$q_{nötr} = \frac{-3,5\,kJ}{0,0625\,mol\,H_2O} = -56\,kJ/mol\,H_2O$$

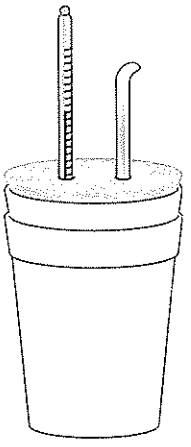
Değerlendirme

$q_{nötr}$ negatif olduğundan, tepkime ekzotermiktir. Bu örnekte çok iyi bilinen bir tepkimeyi ele alarak, yine çok iyi bilinen bir değeri, $q_{nötr} = -56$ kJ/mol, bulduk. Bu örnekte başka kuvvetli asit-kuvvetli baz tepkimelerini kullansaydık, yine aynı değeri bulacaktık. Çünkü bütün kuvvetli asit-kuvvetli baz tepkimelerinde net iyonik eşitlik aynıdır.

ALIŞTIRMA A: 22,4 °C de 100,0 mL, 1,00 M $AgNO_3$(suda) ve 100,0 mL, 1,00 M NaCl(suda) çözeltileri poliüretan köpükten yapılmış bir kalorimetre içerisinde karıştırılarak tepkime gerçekleştiriliyor ve tepkime sonucunda sıcaklığın 30,2 °C ye yükseldiği gözleniyor. AgCl(k) ün mol başına q_{tep} değerini aşağıdaki tepkimeye göre bulunuz.

$$Ag^+(suda) + Cl^-(suda) \longrightarrow AgCl(k)$$

ALIŞTIRMA B: 24,52 °C de 100,0 mL 1,020 M HCl ile 50,0 mL 1,988 M NaOH çözeltileri poliüretan köpükten yapılmış bir kalorimetrede karıştırılıyor. Karışımın son sıcaklığı ne olur? Örnek 7-4 de verilen aynı kabulleri yapınız ve aynı nötürleşme ısısını kullanınız. [*İpucu:* Hangi tepken sınırlayıcı bileşendir?]



▲ ŞEKİL 7-6
"Kahve fincanı" kalorimetresi
Tepkime karışımı iç kaptadır. Dış kap çevredeki havadan yalıtımı sağlar. Kap, tepkime karışımına bir termometre ve karıştırıcı daldırılarak lastik bir tıpa ile kapatılmıştır. Kalorimetredeki tepkime *sabit atmosfer basıncında* gerçekleşir. Sabit basınç ile sabit hacimde gerçekleşen tepkimeler arasındaki farkı Kesim 7-6 da ele alacağız.

7.4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir kalorimetre bombasının veya bir çözelti kalorimetresinin (kahve- fincanı kalorimetresi) özgül ısısı nasıl belirlenir?

7-4 İş

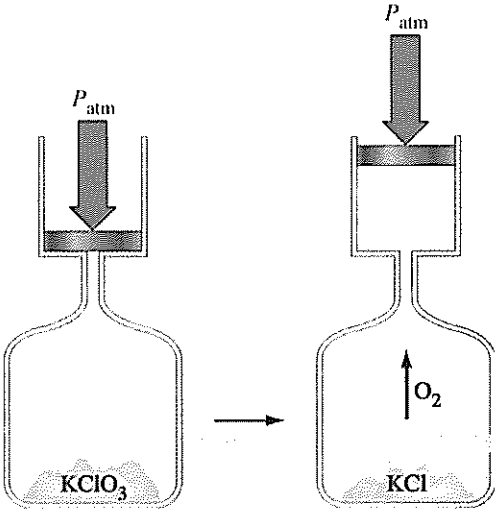
Şimdiye kadar kimyasal tepkimelerin ısı değişimleri ile yürüdüğünü gördük. Bazı tepkimelerde iş alışverişi de olur, yani sistem çevresine iş yapabilir veya tersi gerçekleşebilir. Örneğin, potasyum kloratın, potasyum klorür ve oksijen vermek üzere bozunma tepkimesini ele alalım. Bozunmanın Şekil 7-7 de görülen bir kapta gerçekleştiğini varsayalım. Kabın duvarları genleşen oksijene karşı dayanıklıdır, bununla beraber kabın ağzını kapatan piston itilebilir durumdadır. Tepkimeyle oluşan $O_2(g)$ nin basıncı atmosfer basıncından fazla olduğunda piston kalkar (yükselir) ve sistem çevreye iş yapar. Piston olmasaydı bile genleşen $O_2(g)$ gazının atmosferdeki diğer gazları çevreye ittiği için, yine de çevreye karşı iş yapacağını görebiliyor musunuz? Gazların genleşmesi veya sıkışması ile ilgili işe **basınç-hacim işi** denir. Basınç-hacim, ya da *P-V* işi patlayıcılar ve otomobil motorlarında benzinin yanması ile oluşan gazların yaptığı iştir.

Şimdi basit bir düzeneği ele alalım ve *P–V* işinin nasıl hesaplanacağını görelim.

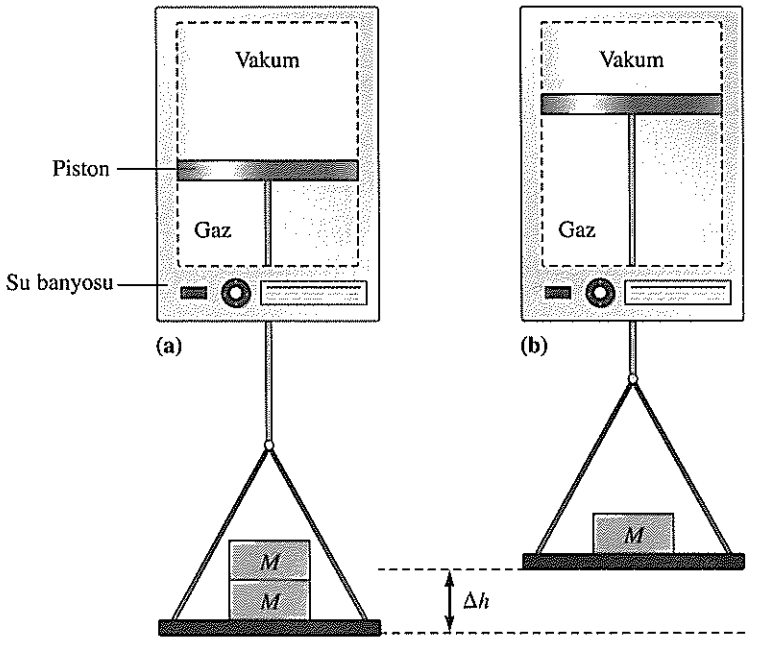
Şekil 7-8 (a) da gösterilen hayali düzeneği göz önüne alalım. Çok çok hafif, kütlesiz bir piston yine kütlesiz bir tel desteğe bağlansın ve bu tel de bir kefeye (tabla) tutturulsun. Kefeye aynı kütlede iki ağırlık konularak gazın genleşmesi engellensin. Gaz böylece silindir duvarları ile piston arasında yer alır ve pistonun üstü boştur (vakum). Silindir, sıcaklığı sabit tutmak için sıcaklığı sabit bir su banyosunda tutulsun. Şimdi ağırlıklardan birini kaldırdığımızı farz edelim, yani kefede başlangıçtaki kütlenin yarısı kalsın ve bu kütleye de *M* diyelim. Bu durumda gaz genleşir ve *M* yerçekimine karşı hareket eder, Şekil 7-8 (b). Genleşmeden sonra piston dik bir mesafede Δh kadar yükselir ve gazın hacmi iki katına çıkar. Dolayısıyla da gaz basıncı azalır.

Şimdi basınç ve hacmin, hesaplamalarda nasıl yer aldığını, gazın genleşmesi ile ne kadar *basınç-hacim* işi yapıldığını görelim. Öncelikle *M* kütlesinin, Δh kadar yer değiştirmesine neden olan gaz tarafından yapılan işi bulalım. Eşitlik (7.1) kullanılarak yapılan iş:

$$\text{iş}(w) = \text{kuvvet}\ (M \times g) \times \text{uzaklık}\ (\Delta h) = -M \times g \times \Delta h$$



▶ ŞEKİL 7-7
$2KClO_3(k) \longrightarrow 2KCl(k) + 3O_2(g)$ kimyasal tepkimesinde işin (genleşme) gösterilişi
Oluşan oksijen gazı, ağırlığı (piston) iter ve bu şekilde çevreye iş yapar.



▲ ŞEKİL 7-8
Basınç-hacim işi
(a) Bu hayali düzenekte, gaz, alanı A olan kütlesiz piston vasıtasıyla tutulmaktadır. Piston kütlesiz bir tele ve tel de iki birleşik 2M kütlesini taşıyan kefeye bağlanmıştır. Silindir, gaz sıcaklığını sabit tutmak için geniş bir su banyosuna daldırılmıştır. V_i hacmi ve T sıcaklıktaki gazın başlangıçtaki durumu $P_i = 2\,Mg/A$ dır. **(b)** Gaz üzerinde etkili olan dış basınç ani olarak ağırlıklardan biri kaldırılarak düşürülürse, gaz, pistonu Δh mesafesi kadar iter ve genleşir. Gazın hacmindeki artış (ΔV), silindirin kesit alanı (A) ile uzaklığın (Δh) nin çarpımıdır. Gazın son hali $Ps = Mg/A$, Vs, T dir.

Ağırlık tarafından uygulanan kuvvet $M \times g$ dir, burada g yer çekimi ivmesidir. Kuvvet pistonun hareket yönüne ters olduğu için ifadede negatif işaret yer alır.

Şimdi de eşitlik (6.1) i anımsayalım, yani, basınç = kuvvet $(M \times g)$/ alan (A). İş ifadesini A/A ile çarparsak,

$$w = -\frac{M \times g}{A} \times \Delta h \times A = -P_{\text{dış}}\Delta V \qquad (7.11)$$

elde ederiz.

Basınç-hacim işinin "basınç" kısmındaki $P_{\text{dış}}$ pistonu aşağı iten dış basınçtır ve Mg/A ile verilir. Alan (A) ile yükseklik (Δh) çarpımının hacme eşit olduğuna dikkat ediniz. ΔV, genleşmede meydana gelen hacim değişimidir.

Eşitlik (7.11) deki iki önemli özelliğe dikkat edilmelidir: *negatif* işaret ve $P_{\text{dış}}$ terimi. Negatif işaret, bundan sonraki kesimde belirteceğimiz işaretlemeden kaynaklanan bir kabuldür. Gaz genleşirse ΔV pozitiftir ve w negatiftir, yani sistem dışarıya iş yapar. Gaz sıkıştırılırsa ΔV negatiftir, w ise pozitif işaretlidir, yani sisteme enerji girer veya sistem üzerine iş yapılır. $P_{\text{dış}}$, *dış* basınçtır yani sistemi sıkıştırmak için uygulanan basınçtır. Birçok durumda sistemin iç basıncı, dış basınca eşittir. Bu durumda eşitlik (7.11) deki basınç sadece P olarak yazılır.

◀ Sistemden dışarıya enerji aktarıldığında, iş negatif, sisteme enerji aktarıldığında ise pozitiftir. Bu tür işaretlemeler, ekzotermik ve endotermik işlemlerdeki tepkime ısıları (q) ile uyumludur.

▶ atm L birimi, genellikle L atm (litre-atmosfer) şeklinde yazılır. Bu birimin kullanımı halen devam etmektedir.

Basınç bar veya atmosfer biriminde, hacim litre biriminde verilirse; işin birimi bar L veya atm L dir. Bununla beraber işin SI sistemindeki birimi joule'dür. Bar L veya atm L yi joule'e çevirmek için aşağıdaki bağıntıyı kullanırız. Her ikisi de *tam* olarak:

$$1 \text{ bar L} = 100 \text{ J} \qquad 1 \text{ atm L} = 101{,}325 \text{ J}$$

Bu bağıntılar Çizelge 6.3 de verilen R, değerlerinin karşılaştırılması ile kolayca elde edilebilir. Çünkü $R = 8{,}3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 0{,}083145 \text{ bar L K}^{-1}$ dir.

$$\frac{8{,}3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0{,}083145 \text{ bar L K}^{-1} \text{ mol}^{-1}} = 100 \frac{\text{J}}{\text{bar L}}$$

ÖRNEK 7-5 Basınç-Hacim İşinin Hesaplanması

Şekil 7-8 de gösterilen gazın, 298 K de 0,100 mol He olduğunu, Şekil 7-8 (a) daki iki ağırlığın 2,40 atm dış basıncı ve Şekil 7-8 (b) deki tek ağırlığın 1,20 atm dış basınca karşılık geldiğini kabul ediniz. Sabit sıcaklıkta bu gaz genleştirildiğinde, joule olarak, ne kadar iş yapılır?

Analiz

İlk ve son gaz hacmini hesaplamak için yeterince veri verilmiştir (gazın ideal gaz gibi davrandığını kabul ettiğimize dikkat ediniz). Bu hacimleri hesaplayarak ΔV yi bulabiliriz. Basınç-hacim işinde dış basınç, *son* basınçtır ve 1,20 atm dir. $-P_{\text{dış}} \times \Delta V$ çarpımı, bir faktörle çarpılarak litre-atmosfer birimindeki iş, J birimine çevrilmelidir.

Çözüm

Önce ilk ve son hacimleri hesaplayınız.

$$V_{\text{ilk}} = \frac{nRT}{P_{\text{i}}} = \frac{0{,}100 \text{ mol} \times 0{,}0821 \text{ L atm mol}^{-1} \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{2{,}40 \text{ atm}} = 1{,}02 \text{ L}$$

$$V_{\text{son}} = \frac{nRT}{P_{\text{s}}} = \frac{0{,}100 \text{ mol} \times 0{,}0821 \text{ L atm mol}^{-1} \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{1{,}20 \text{ atm}} = 2{,}04 \text{ L}$$

$$\Delta V = V_{\text{s}} - V_{\text{i}} = 2{,}04 \text{ L} - 1{,}02 \text{ L} = 1{,}02 \text{ L}$$

$$w = -P_{\text{dış}} \times \Delta V = -1{,}20 \text{ atm} \times 1{,}02 \text{ L} \times \frac{101 \text{ J}}{1 \text{ L atm}} = -1{,}24 \times 10^{2} \text{ J} \quad \text{dür.}$$

Değerlendirme

Negatif işaret genleşen gazın (yani, sistemin) çevreye iş yaptığını gösterir. İdeal gaz eşitliğinin Boyle yasasını içerdiğini aklınızda tutunuz: Sabit sıcaklıkta belirli miktar gazın hacmi basınçla ters orantılıdır. Öyleyse, Örnek 7-5 de basitçe

$$V_{\text{s}} = 1{,}02 \text{ L} \times \frac{2{,}40 \text{ atm}}{1{,}20 \text{ atm}}$$

$$V_{\text{s}} = 2{,}04 \text{ L}$$

ALIŞTIRMA A: 23 °C sabit sıcaklıkta 0,225 mol N_2 gazı, 0,750 atm lik dış basınca karşı, hacmi 1,50 L oluncaya kadar genleştirildiğinde yapılan iş kaç joule dür? [*İpucu:* Bu bilginin ne kadarı gereklidir?]

ALIŞTIRMA B: Şekil 7-8 deki gibi bir silindirde 50,0 g $N_2(g)$ 75,0 L ye sıkıştırılmıştır. 20,0 °C sabit sıcaklıkta 2,50 atm lik bir dış basınç uygulanırsa yapılan iş kaç joule dür?

7-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

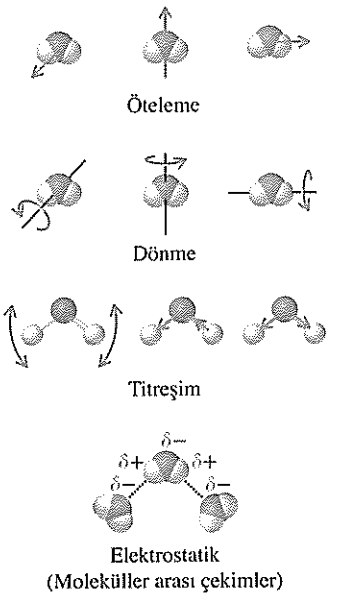
1,0 L lik kapalı silindirdeki bir gazın ilk basıncı 10,0 bar, son basıncı ise 5,0 bar'dır. Bu süre içinde silindirin hacmi sabit kalmaktadır. Bu değişimi sağlamak için silindirin sınırlarından enerji hangi şekilde aktarılmıştır? Enerji hangi yöne aktarılmıştır?

Bu sonuç 1 bar L = 100 J olduğunu doğrular. 1 atm L nin tam olarak 101,325 J olduğunu nasıl gösteririz? 1 atm in 1,01325 bar olduğunu hatırlayınız (bakınız Çizelge 6.1). Buna göre 1 atm L= 1,01325 bar L = 1,01325 × 100 J = 101,325 J dür.

7-5 Termodinamiğin Birinci Yasası

Isı alınması ya da salınması ve bir iş yapılması sistemin ve çevrenin enerjisinde değişmelere neden olur. Bir sistemin enerjisini ifade ederken, iç enerji kavramını ve onun ısı ve iş ile ilişkisini belirtmek istiyoruz.

İç enerji, *U*, bir sistemdeki toplam enerji (kinetik ve potansiyel) olup, moleküllerin *öteleme kinetik enerjilerini,* dönme ve titreşim enerjilerini, bağlarda depo edilmiş kimyasal enerjiyi, moleküller arası etkileşim enerjilerini ve atomlardaki elektronlara eşlik eden enerjiyi içine alır. Bazı iç enerji türleri Şekil 7-9 da gösterilmiştir. İç enerji aynı zamanda atomun çekirdeğindeki proton ve nötronlar arasındaki etkileşimlerden ileri gelen enerjiyide (bu bileşen kimyasal tepkimelerle değişmemekle birlikte) içerir. Bir sistem enerjiyi *yalnız* iç enerji şeklinde içerir, ısı veya iş şeklinde içermez. Isı ve iş, sistemin çevresi ile enerji değişimlerindeki bir araçtır. *Isı ve iş sadece sistemdeki bir değişiklik durumunda vardır.* Isı (q), iş (w) ve iç enerji değişimi (ΔU) arasındaki ilişki, enerjinin korunumu yasasına uyar ve **termodinamiğin birinci yasası** olarak bilinir.



▲ ŞEKİL 7-9
Sistemin iç enerjisine katkılar
Modeller su moleküllerini, oklar hareketleri temsil etmektedir. Su molekülleri arasındaki moleküller arası çekimlerde $\delta+$ ve $\delta-$ işaretleri yüklerin ayrılmasını ve pozitif ve negatif yük merkezlerinin oluştuğunu gösterir. Bu yükler iyonik yüklerden daha küçüktür. Moleküller arası çekimler Bölüm 12 de incelenecektir.

$$\Delta U = q + w \qquad (7.12)$$

Çevresi ile ısı ve iş değişimi yapamayan yalıtılmış bir sistemi dikkate aldığımızda $\Delta U_{\text{yalıtılmış sistem}} = 0$ dır. Buna göre,

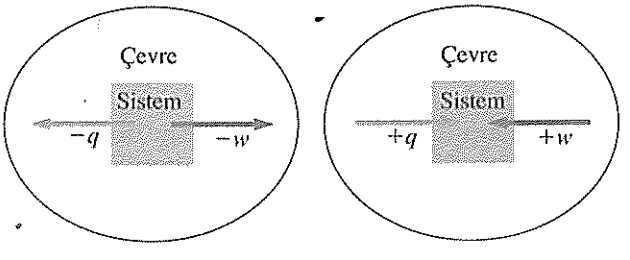
Yalıtılmış bir sistemin enerjisi sabittir diyebiliriz.

Eşitlik (7.12) yi kullanılırken aşağıda önemli noktaları aklımızda tutmalıyız.

- Sisteme *giren* enerji *pozitif* işaretlidir. Buna göre, sistem ısı *alırsa* $q > 0$, sisteme iş yapılırsa $w > 0$ dır.
- Sistemden *çıkan* enerji *negatif* işaretlidir. Yani, sistemden çevreye *verilen* ısı, $q < 0$ dır. Sistem çevreye iş yaparsa $w < 0$ dır.
- Genel olarak, sisteme giren ya da sistemden çıkan (ısı ya da iş olarak) enerji, sistemin iç enerjisini değiştirir. Sistemden çıkandan daha fazla enerji sisteme girerse ΔU *pozitif* olur. Sisteme giren enerjiden daha fazla enerji sistemden çıkarsa ΔU *negatiftir.*
- $\Delta U_{\text{yalıtılmış sistem}} = 0$ sonucuna göre $\Delta U_{\text{sistem}} = -\Delta U_{\text{çevre}}$ dir. Diğer bir ifadeyle, enerji korunur.

UNUTMAYINIZ
Isı, yönlenmemiş enerji akışıdır. İş ise yönlenmiş enerji akışıdır.

Bu kavramlar Şekil 7-10 da özetlenmiş, Örnek 7-6 da gösterilmiştir.



◀ ŞEKİL 7-10
Termodinamikte kullanılan işaretlerin gösterilişi
Oklar ısı akışının (⟶) ve işin (⟶) yönünü göstermektedir. Soldaki şekilde eksi (–) işareti, sistemden enerji çıktığını ve çevreye girdiğini, sağdaki şekilde artı (+) işareti çevreden sisteme enerji girdiğini belirtmektedir. Bu işaretleme kuralları $\Delta U = q + w$ ifadesi ile uyumludur.

ÖRNEK 7-6 **Termodinamiğin Birinci Yasasına Göre ΔU, q ve w Arasındaki İlişki**

Bir gaz (Şekil 7-8 i anımsayınız) genleşirken 25 J ısı almakta ve dışarıya 243 J iş yapmaktadır. Gazın ΔU değeri nedir?

Analiz

Bu tür soruların çözümünde anahtar, ısı ve işe doğru işaretler vermektir. Sisteme ısı girdiği için q nun işareti *pozitif*, sistem iş yaptığı, yani sistemden enerji çıktığı için w nun işareti *negatiftir*. q ve w yu doğru işaretleri ile parantez içinde göstermek uygun olur. Sonra cebirsel işlem yapılır.

Çözüm

$$\Delta U = q + w = (+25\,\text{J}) + (-243\,\text{J}) = 25\,\text{J} - 243\,\text{J} = -218\,\text{J}$$

Değerlendirme

İç enerji, ΔU nun işaretinin negatif olması, sistemin, yani bu durumda gazın, enerji kaybettiğini gösterir.

ALIŞTIRMA A: Bir gazın sıkıştırılması sırasında sisteme 355 J iş yapılmakta, aynı zamanda sistemden 185 J ısı salınmaktadır. Sistem için ΔU nedir?

ALIŞTIRMA B: Bir sistemin iç enerjisi 125 J *azalır* ve aynı zamanda sistem 54 J ısı *alırsa*, sistem iş mi yapar, yoksa sisteme iş mi yapılır? İşin miktarı nedir?

7-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

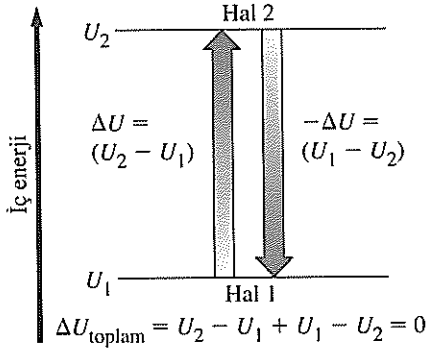
Amonyak gazı ile doldurulmuş bir balona su enjekte edilirse, balon büzülür ve sıcaklık yükselir. Buradaki ısı ve işin kaynağı nedir? Bu işlemdeki q ve w in işaretleri nelerdir?

Hal fonksiyonları

Bir sistemi sıcaklık, basınç ve içerdiği madde miktarı ile tanımlarız. Bu bilgiler sistemin *halini* belirtir. Sistemin belirli bir hali için belli bir değeri olan özelliğe **hal fonksiyonu** denir. Örneğin, 20 °C (293,15 K) ve 100 kPa basınçtaki bir saf su örneğinin belirli bir hali vardır. Bu haldeki suyun yoğunluğu 0,99820 g/mL dir. Yoğunluğun bu değerinin hale bağlı (hal fonksiyonu) olduğunu şu örneklerle saplayabiliriz: üç su örneği ele alalım; birincisi yeraltı suyunun damıtılmasından, ikincisi saf H_2(g) nin saf O_2 (g) içinde yanmasından, üçüncüsü $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ daki kristal suyunun uzaklaştırılıp yoğunlaştırılmasından elde edilsin. Her üçünün de yukarıda belirttiğimiz koşullarda yoğunluğu 0,99820 g/mL dir. Yani hal fonksiyonu olan yoğunluk sadece sistemin haline bağlıdır. O hale nasıl ulaşıldığına bağlı değildir.

Bir sistemin iç enerjisi bir hal fonksiyonudur. Bununla beraber, iç enerjinin değerini belirlemek için basit bir ölçme veya hesaplama yöntemi yoktur. Yani bir sistem için U nun değerini suyun 20 °C de yoğunluğu için d = 0,99820 g/mL yazdığımız gibi yazamayız. U nun gerçek değerini bilmemize gerek de yoktur. 0 °C da 10,0 g buzu 50 °C sıcaklığa kadar ısıttığımızı düşünelim. 0 °C buzun U_1 değerinde bir iç enerji değeri vardır. 50 °C deki su U_2 değerinde iç enerjiye sahiptir. Bu iki hal *arasındaki* iç enerji farkı $\Delta U = U_2 - U_1$ dir ve bir şekilde kesin olarak ölçülebilir. İç enerji değişiminin değeri, çevreden sisteme verilen ve 1 halinden 2 haline geçebilmesi için aktarılması gereken enerji (ısı şeklinde) miktarıdır. Bu durumu daha iyi gözleyebilmek için, sayfa 257 deki diyagramla verilen şemayı dikkate alalım ve sistemin 1 halinden 2 haline geçtiğini ve tekrar 1 haline döndüğünü varsayalım:

$$\text{Hal 1 } (U_1) \xrightarrow{\Delta U} \text{Hal 2 } (U_2) \xrightarrow{-\Delta U} \text{Hal 1 } (U_1)$$



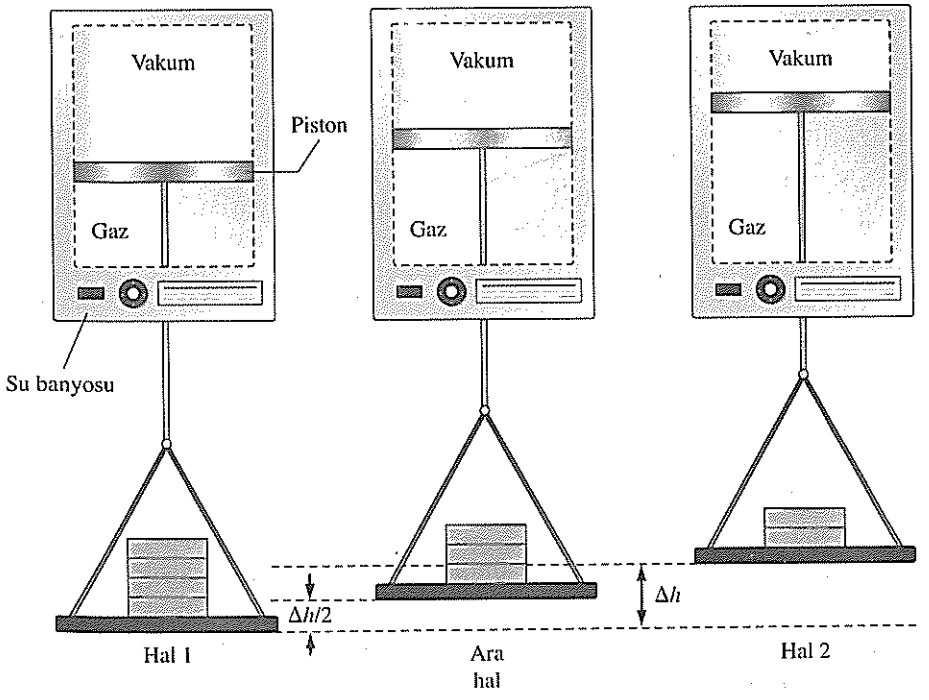
U nun her bir hal için tek bir değeri olduğundan, ΔU nun, yani U_2–U_1 nin de tek bir değeri vardır. Sistem 2 halinden 1 haline tekrar döndüğünde iç enerjideki değişim $-\Delta U = U_1$–U_2 dir. *Toplam* iç enerji değişimi

$$\Delta U + (-\Delta U) = (U_2 - U_1) + (U_1 - U_2) = 0$$

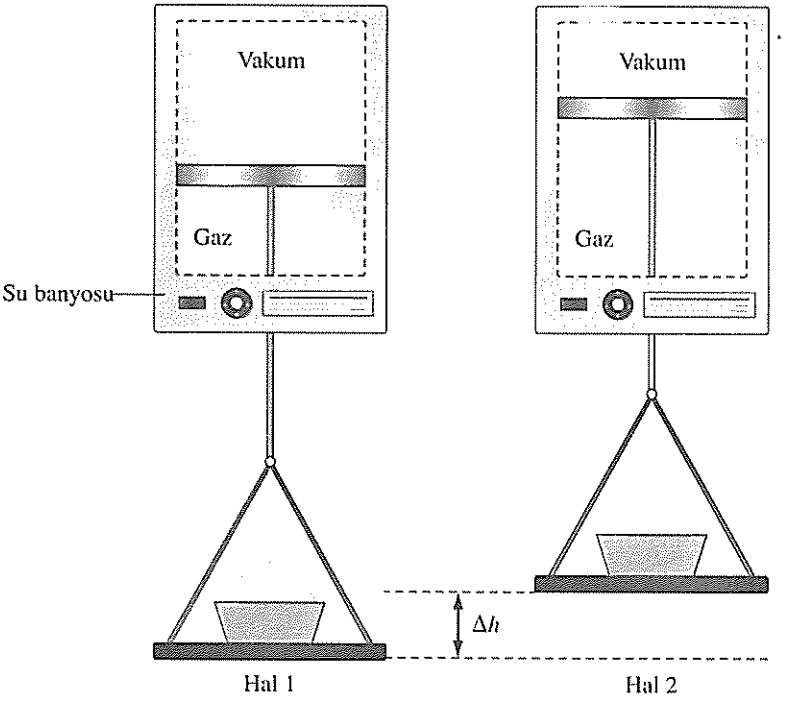
dır. Bunun anlamı, iç enerjinin ilk değeri olan U_1 değerine geri dönmesidir. İç enerji bir hal fonksiyonu olduğundan, U_1 e dönüldüğünde bu ilk değere dönülmelidir. Değişimin yönü tersine döndüğünde ΔU nun da işaretinin değiştiğine dikkat ediniz.

Yola Bağlı Fonksiyonlar

İç enerji ve iç enerji değişimlerinin aksine, ısı (q) ve iş (w) hal fonksiyonu *değil*dir. Bu fonksiyonların değeri sistemdeki değişiklik için izlenen yola bağlıdır. Bunun neden böyle olduğunu Şekil 7-8 ve Örnek 7-5 de tanımlanan işlemleri dikkate alarak görebiliriz. 298 K ve 2,40 atm basınçta 0,100 mol He gazını ele alalım (*hal 1*) ve 1,20 atm basınca kadar genleştirelim (*hal 2*). Hal 1 den hal 2 ye geçişin tek basamakta gerçekleştiğini düşünelim. İkinci durumda aynı genleşmenin Şekil 7-11 de gösterildiği gibi bir ara basamak üzerinden gerçekleştirildiğini kabul edelim. Yani önce dış basıncı 2,40 atm den 1,80 atm düşürelim (bu durumda gazın hacmi 1,36 L dir), daha sonra ikinci basamak olarak basıncı 1,20 atm'e düşürerek hal 2 ye ulaşalım.



◀ ŞEKİL 7-11
Şekil 7-8 de gösterilen gazın iki basamaklı genleşmesi
Başlangıç basamağında gazı tutan M/2 kütleli dört ağırlık vardır. Ara basamakta bu ağırlıklardan biri kaldırılır, son basamakta ikinci M/2 kütleli ağırlık kaldırılır. Bu şekildeki ilk ve son haller Şekil 7-8 deki ile aynıdır. Bu iki basamaklı genleşme bize işin yola bağlı olduğunu gösterir.



▶ ŞEKİL 7-12
Gazı genleştirmenin farklı bir yolu
Bu genleşme sürecinde Şekil 7-8 ve Şekil 7-11 deki ağırlıklar, başlangıç halindeki ağırlıklara eşdeğer olan ve kum içeren 2MM kütleli kefe ile yer değiştirmişlerdir. Son halde kumun kütlesi *M* ye düşürülmüştür.

Gazın tek basamakta genleşmesinde gaz tarafından yapılan işi Örnek 7-5 de hesaplamıştık ve $w = -1{,}24 \times 10^2$ J olarak bulmuştuk. İki basamakta gerçekleştirilen yoldaki işi, iki basamakta gerçekleşen basınç-hacim genleşme işi olarak hesaplayalım.

$$\begin{aligned} w &= -1{,}80\ \text{atm} \times (1{,}36\ \text{L} - 1{,}02\ \text{L}) - 1{,}20\ \text{atm} \times (2{,}04\ \text{L} - 1{,}36\ \text{L}) \\ &= -0{,}61\ \text{L atm} - 0{,}82\ \text{L atm} \\ &= -1{,}43\ \text{L atm} \times \frac{101\ \text{J}}{1\ \text{L atm}} = -1{,}44 \times 10^2\ \text{J} \end{aligned}$$

UNUTMAYINIZ
Bu iki farklı genleşme işleminde w değişirse, q da değişmelidir. Çünkü her iki işlem için $q + w = \Delta U$ değeri termodinamiğin birinci yasası gereğince belirli bir değerdir.

İç enerji hal fonksiyonu olduğu için, genleşme ister tek basamaklı, isterse iki basamaklı işlemde olsun, ΔU aynı değerdedir. Bununla beraber, elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi, iki basamakta gerçekleştirilen işlemde biraz daha fazla iş yapılmaktadır. Öyleyse, iş bir hal fonksiyonu değildir ve izlenen yola bağlıdır. Gelecek kesimde ısının da bir hal fonksiyonu olmadığını göreceğiz.

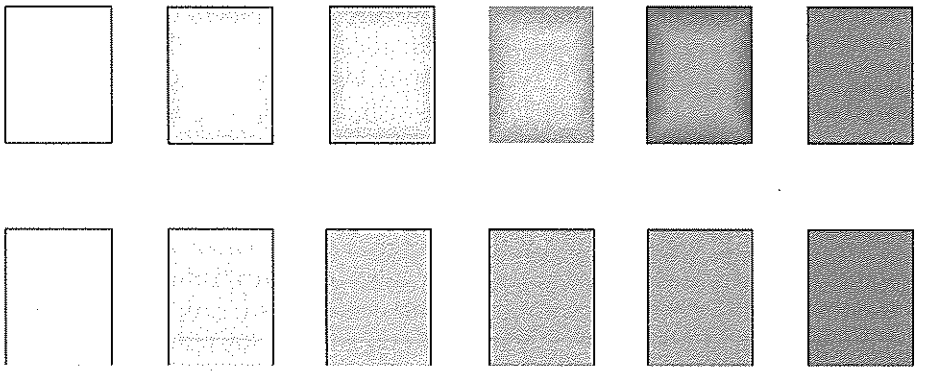
Şimdi, hal 1 den hal 2 ye genleşmeyi farklı yoldan gerçekleştirdiğimizi düşünelim. Şekil 7-8 ve 7-11 deki ağırlıkları aynı miktar kumla yer değiştirelim; böylece gaz hal 1 de olsun. Şimdi kumu yavaş yavaş ortamdan aldığımızı hayal edelim. Kumun tam olarak yarısını alınınca hal 2 ye ulaşılacaktır. Bu çok yavaş genleşme işlemi hemen hemen tersinir bir şekilde gerçekleşir. **Tersinir bir işlem**, sistem değişkenlerinde çok çok küçük bir değişiklik yapıldığında olayın ters yöne dönebildiği bir işlemdir. Örneğin, bir kum taneciği eklendiğinde anlattığımız genleşme tersine döner. Bununla beraber, olay tam olarak tersinir değildir, çünkü bir kum taneciği inanılmaz derecede küçük bir kütledir. Yaklaşık tersinir olan bu işlem çok fazla sayıda ara basamak genleşmesinden meydana gelir. Bu tarz bir işlemden hal 1 den hal 2 ye gazın doğrudan genleştirilmesinden daha fazla bir iş elde edilir.

Belirli sayıdaki basamakta gerçekleştirilen genleşme ile tersinir genleşme arasındaki önemli fark, tersinir genleşmede gazın çevresi ile her an dengede olması, basamaklı işlemde ise dengede olmamasıdır. Basamaklar halinde gerçekleştirilen işleme **tersinmez işlem** denir, çünkü işlemde sistem çevresi ile dengede değildir. Çok küçük bir değişiklikle işlem tersine çevrilemez.

İki farklı genleşmedeki (Şekil 7-8 ve 7-11) iş miktarı karşılaştırıldığında farklı bulunur. Bu durum işin bir hal fonksiyonu olmadığını gösterir. Bunlara ilaveten iki basamaklı genleşmedeki (Şekil 7-11) iş miktarı, tek basamaklı genleşmedekinden daha fazladır (Şekil 7-8). Özellikli Alıştırma 125 aracılığı ile, tersinir genleşmede maksimum işin yapıldığının gösterilmesini sizlere bırakıyoruz (Şekil 7-12).

7-7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir örnek çok yavaş veya çok hızlı ısıtılabilir. Aşağıda verilen renklerdeki koyulaşma, sıcaklık artışının bir göstergesidir. Verilenlerden hangi ikisi tersinir ısıtmaya, hangi ikisi istemli veya tersinmez ısıtmaya karşılık gelir?



◀ Tam mükemmel bir tersinir işlem mevcut olmamakla birlikte, dönüşüm sıcaklığındaki (e.n ve k.n gibi) erime ve donma olayları hemen hemen tersinir olan işlemlere örnektir. Isı verildiğinde erime, ısı alındığında donma gerçekleşir.

7-6 Tepkime Isıları : ΔU ve ΔH

Bir kimyasal tepkimede tepkenlerin sistemin ilk halini, ürünlerin sistemin son halini gösterdiğini düşünebiliriz.

$$\begin{array}{ccc} \text{tepkenler} & \longrightarrow & \text{ürünler} \\ \text{(ilk hal)} & & \text{(son hal)} \\ U_i & & U_s \end{array}$$

$$\Delta U = U_s - U_i$$

Termodinamiğin birinci yasasına göre, $\Delta U = q_{tep} + w$ dur. Daha önce tepkime ısısını, q_{tep} olarak belirtmiştik ve böylece,

$$\Delta U = q_{tep} + w$$

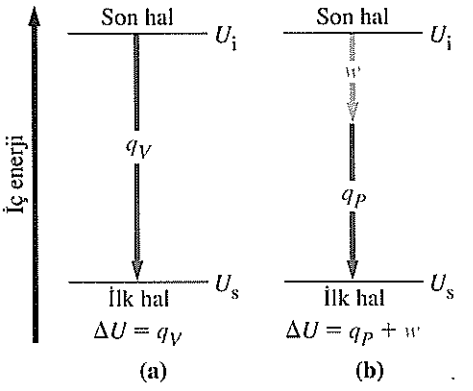
yazabiliriz.

Bir kalorimetre bombasında gerçekleştirilen bir yanma tepkimesini yeniden ele alalım (bakınız Şekil 7-5). Tepkenler ve ürünler bomba içinde hapsedildiği için, tepkimenin *sabit hacim*de meydana geldiğini söyleyebiliriz. Hacim sabit kaldığı için, $\Delta V = 0$ dır ve herhangi bir iş yapılmaz, yani $w = -P\Delta V = 0$ dır. Sabit hacimde meydana gelen tepkime için tepkime ısısını q_V ile gösterirsek, termodinamiğin birinci yasasına göre $\Delta U = q_V$ elde ederiz.

$$\Delta U = q_{tep} + w = q_{tep} + 0 = q_{tep} = q_V \qquad (7.13)$$

Kalorimetre bombasında ölçülen tepkime ısısı, ΔU değerine eşittir.

Genellikle kimyasal tepkimeleri kalorimetre bombasında gerçekleştirmeyiz. Örneğin, sakkaroz metabolizması insan vücudu koşullarında olur. Metanın (doğal gaz) ocakta yanması havaya açıktır. Bu durumda akla şöyle bir soru gelebilir: Kalorimetre bombasında ölçülen tepkime ısısı ile



▶ ŞEKİL 7-13
Bir sistemde aynı iç enerji değişimine neden olan iki farklı yol
(a) yolunda, sistemin hacmi sabittir ve iç enerji işe dönüşmez (kalorimetre bombasında benzinin yakıldığını düşününüz) **(b)** yolunda, sistem iş yapar ve iç enerji değişimininin bir kısmı iş yapmak için harcanır (otomobillerde yanan benzinin ısı ve iş oluşturduğunu düşününüz).

tepkimenin başka yollarla gerçekleştiği zamanki tepkime ısısı nasıl karşılaştırılabilir? Buradaki "başka yollarla"nın anlamı, beherde, erlende ve başka kaplarda atmosfere açık yani *sabit atmosfer basıncı altında* gerçekleştirilen tepkimelerdir. Örnek 7-4 deki nötürleşme tepkimesi, çoğu kimyasal tepkimenin normal olarak gerçekleştirilişine bir örnektir.

Sabit basınçta gerçekleştirilen birçok tepkimede, sistem genleştikçe veya sıkıştıkça küçük bir miktar hacim–basınç işi yapılır (Örnek 7-7'yi hatırlayınız). Bu durumlarda tepkime ısısı olan q_P, q_V den farklı bir değerdedir. İç enerji değişiminin (ΔU) başlangıç ve son haller arasında belirli bir değer olduğunu biliyoruz. Ayrıca $\Delta U = q_V$ olduğunu da biliyoruz. Şekil 7-13 den ve termodinamiğin birinci yasasından, sabit basınçtaki bu *aynı tepkime* için $\Delta U = q_P + w$ yani, $\Delta U = q_V = q_P + w$ yazılır. Böylece $w = 0$ olmadıkça, q_V ile q_P birbirinden farklı olacaktır. Bir tepkimenin q_V ve q_P değerleri, ΔU değeri aynı olduğu halde, farklı olabilir. Bu durum, U nun bir hal fonksiyonu olduğunu, ama q ve w nun hal fonksiyonu olmadıklarını gösterir.

Sabit basınçtaki bir işlemde, ısı akışını gösteren ve q_V ve q_P arasındaki bir ilişkiyi belirten başka bir hal fonksiyonu oluşturabiliriz. Bu amaçla aşağıdaki bağıntıdan yola çıkabiliriz.

$$q_V = q_P + w$$

Şimdi, $\Delta U = q_V$ ve $w = -P\Delta V$ yi kullanarak terimleri yeniden düzenleyelim.

$$\Delta U = q_P - P\Delta V$$
$$q_P = \Delta U + P\Delta V$$

U, P ve V değişkenleri birer hal fonksiyonudur. Öyleyse, $\Delta U + P\Delta V$ ifadesi de bir hal fonksiyonu olmalıdır. Bu hal fonksiyonu **entalpi, *H***, olarak adlandırılır ve hacim-basınç işi ile iç enerjinin toplamına eşittir: $H = U + PV$. Bir işlemin ilk ve son halleri arasındaki **entalpi değişimini, ΔH**, aşağıdaki gibi elde ederiz.

$$\Delta H = H_s - H_i = (U_s + P_sV_s) - (U_i + P_iV_i)$$
$$\Delta H = (U_s - U_i) + (P_sV_s - P_iV_i)$$
$$\Delta H = \Delta U + \Delta PV$$

Eğer işlem sabit sıcaklık ve basınçta ($P_i = P_s$) gerçekleştirilirse ve iş, hacim-basınç işi ile sınırlı ise, entalpi değişimi

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$$

dır ve bu koşullarda işlemdeki ısı akışı

$$\Delta H = q_P \qquad (7.14)$$

7-8 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir sistemin aşağıdaki değişimlere uğradığını düşününüz. Sisteme 40 kJ değerinde bir ısı verilmiş ve sistem 15 kJ değerinde iş yapmıştır. Daha sonra sistem soğutma ve sıkıştırma ile ilk haline döndürülmüştür. ΔH ın değeri ne olur?

Kimyasal Tepkimede Entalpi (ΔH) ve İç Enerji (ΔU) Değişimleri

Sabit basınçtaki tepkime ısısı, ΔH ve sabit hacimdeki tepkime ısısı, ΔU, arasındaki ilişkinin aşağıdaki eşitlikle verilebildiğini belirtmiştik.

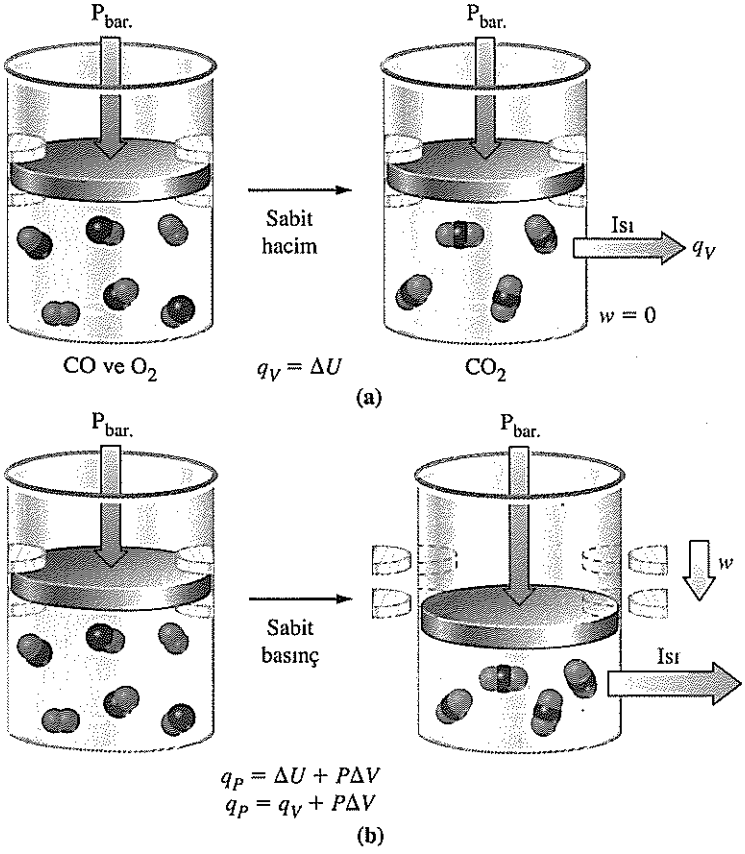
$$\Delta U = \Delta H - P\Delta V \qquad (7.15)$$

Bu ifadedeki son terim, sabit dış basınç altında sistemin hacmindeki değişimden ileri gelen enerjiyi ifade eder. Hacim-basınç işinin önemini anlamak bakımından Şekil 7-14 de verilen şu tepkimeyi dikkate alalım.

$$2\,CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,CO_2(g)$$

Bu tepkimenin ısısını 289 K sabit sıcaklıkta, sabit basınç koşullarında ölçersek, –566,0 kJ enerji elde ederiz. Yani 566,0 kJ enerji sistemden ısı şeklinde çıkar: ΔH= –566,0 kJ. Basınç-hacim işini bulabilmek için

$$P\Delta V = P(V_s - V_i)$$



◀ ŞEKİL 7-14
$2\,CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,CO_2(g)$ tepkimesinin sabit hacimdeki ve sabit basınçtaki tepkime ısılarının karşılaştırılması
(a) Piston hareket ettirilemediği için sabit hacimde iş yapılamaz; $q_V = \Delta U$ = –563,5 kJ
(b) Piston hareket ettirilerek tepkime sabit basınçta gerçekleştirildiğinde, çevre sisteme iş yapar ve sistem daha küçük bir hacme sıkıştırılır. Sabit hacimdeki tepkimeye göre daha fazla ısı açığa çıkar; $q_P = \Delta H$ = – 566,0 kJ.

ile başlarız. İfadeyi, ideal gaz denkleminden yararlanarak

$$P\Delta V = RT(n_s - n_i)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada n_s, ürünlerdeki gazın mol sayısı (2 mol CO_2), n_i ise tepkenlerdeki gazların mol sayısıdır (mol CO + mol O_2). Böylece,

$$P\Delta V = 0{,}0083145\,\text{kJ mol}^{-1}\,\text{K}^{-1} \times 298\,\text{K} \times [2 - (2 + 1)]\,\text{mol} = -2{,}5\,\text{kJ}$$

İç enerji değişimi

$$\begin{aligned}\Delta U &= \Delta H - P\Delta V \\ &= -566{,}0\,\text{kJ} - (-2.5\,\text{kJ}) \\ &= -563{,}5\,\text{kJ}\end{aligned}$$

olur. Hesaplama $P\Delta V$ teriminin ΔH a kıyasla oldukça küçük, ΔH ve ΔU değerlerinin hemen hemen eşit olduğunu göstermektedir. Burada ilginç bir gerçek de sistemin hacminin, çevre tarafından sisteme yapılan iş sonucunda azalmasıdır.

Şimdi de sakkarozun yanmasını göz önüne alalım. Sabit sıcaklıkta, sakkarozun yanma ısısı, ister yanma sabit hacimde (q_V) isterse sabit basınçta (q_P) gerçekleştirilsin aynı değerdedir. Burada sadece çevreyle tepkime arasında bir ısı aktarımı olup, basınç-hacim işi yoktur. Bunun sebebi, sistemin hacminin, gaz tarafından belirlenmesidir. 12 mol $CO_2(g)$ gazı, 12 mol $O_2(g)$ ile aynı hacmi işgal eder. Sakkarozun yanmasında hacim değişimi yoktur. Dolayısıyla $q_P = q_V$ dır. Örnek 7-3 ün sonucunu aşağıdaki gibi verebiliriz.

$$C_{12}H_{22}O_{11}(k) + 12\,O_2(g) \longrightarrow 12\,CO_2(g) + 11\,H_2O(s) \quad \Delta H = -5{,}65 \times 10^3\,\text{kJ} \quad \textbf{(7.16)}$$

Yani, 1 mol $C_{12}H_{22}O_{11}(k)$, 12 mol $O_2(g)$ ile tepkimeye girerek, 12 mol $CO_2(g)$ ve 11 mol $H_2O(s)$ verir, $5{,}65 \times 10^3$ kJ ısı açığa çıkar. ΔH ın birimi kJ mol^{-1} dür, yani bir mol tepkime için demektir. "Bir mol tepkime" tepkime denklemlerinde yazıldığı şekilde tepkenleri ve ürünleri ilişkilendirir. Böylece (7.16) tepkimesinde 1 mol $C_{12}H_{22}O_{11}(k)$, 12 mol $O_2(g)$, 12 mol $CO_2(g)$, 11 mol $H_2O(s)$ yer alır ve *bir mol tepkime başına* entalpi değişimi $5{,}65 \times 10^3$ kJ dür. ΔH ın birimindeki mol^{-1} kısmı genellikle atılır. Ancak Bölüm 19 ve 20 de görüleceği gibi bazen eşitliklerde birim götürme işlemlerinde gerekli olabilir.

Özet olarak; pek çok tepkimede ölçülen tepkime ısısı ΔH dır. Bazı tepkimelerde, özellikle yanma tepkimelerinde, ΔU yu (yani, q_V) ölçeriz. (7.16) tepkimesinde $\Delta U = \Delta H$ dır. Fakat bu her zaman doğru değildir. $\Delta U = \Delta H$ değilse, ΔH değerini, (7.15) ifadesinde belirttiğimiz gibi, ΔU dan elde ederiz. Bu durumda bile ΔH ile ΔU birbirine çok yakındır. Bu kitapta, aksi söylenmedikçe, bütün tepkime ısılarını ΔH değerleri olarak alacağız.

Problem çözümlerinde entalpi değişimlerinin çevirme faktörleri olarak nasıl kullanıldığı Örnek 7-7 de görülmektedir.

ΔU, q ve w yerine neden ΔH ın kullanıldığını merak etmiş olabilirsiniz. Kullanım sadece kolaylık içindir. Benzer durumu günlük hayatta, bir benzin istasyonundan benzin aldığımızı düşünerek ele alalım. Pompanın üzerinde görülen benzin fiyatına benzinin fiyatı ve vergiler dahildir. Muhasebeciler için bu ayrıntı, yani ne kadarının vergi olduğu önemlidir. Oysa benzini satın alan kimse için, her bir litresinin kendisine maliyeti önemlidir. Onu cebinden çıkan para ilgilendirir. İşte termokimyada da başlıca uğraşımız tepkime ısılarıdır, hacim-basınç işi değildir. Birçok

ÖRNEK 7-7 Isı Miktarı ile İlgili Stokiyometrik Hesaplamalar

1,00 kg sakkarozun, $C_{12}H_{22}O_{11}$, tam yanmasından açığa çıkacak ısı ne kadardır?

Analiz

Eşitlik (7.16) 1 mol sakkarozun yanmasını gösterir. Bu tepkimede açığa çıkan ısı $\Delta H = -5{,}65 \times 10^3$ kJ/mol dür. İlk adım 1,00 kg sakkarozun kaç mol olduğunu bulmaktadır. Daha sonra bu değer kullanılarak tepkime entalpisi bulunur.

Çözüm

Önce sakkarozu mol cinsinden ifade ediniz.

$$?\,\text{mol} = 1{,}00\,\text{kg}\,C_{12}H_{22}O_{11} \times \frac{1000\,\text{g}\,C_{12}H_{22}O_{11}}{1\,\text{kg}\,C_{12}H_{22}O_{11}} \times \frac{1\,\text{mol}\,C_{12}H_{22}O_{11}}{342{,}3\,\text{g}\,C_{12}H_{22}O_{11}} = 2{,}92\,\text{mol}\,C_{12}H_{22}O_{11}$$

(7.16) eşitliği ile verilen bilgilerden, yani 1 mol $C_{12}H_{22}O_{11}$ in yanmasıyla $-5{,}65 \times 10^3$ kJ ısı açığa çıktığına göre, bir çevirme faktörü oluşturunuz.

$$?\,\text{kJ} = 2{,}92\,\text{mol}\,C_{12}H_{22}O_{11} \times \frac{-5{,}65 \times 10^3\,\text{kJ}}{1\,\text{mol}\,C_{12}H_{22}O_{11}} = -1{,}65 \times 10^4\,\text{kJ}$$

Negatif işaret, ısı açığa çıktığını belirtir.

Değerlendirme

Sayfa 249 da tartışıldığı gibi, bir yanma tepkimesinde açığa çıkan ısı hemen çevreye aktarılmaz. Bu tepkimede açığa çıkan ısının, ürünlerin sıcaklığını 100 °C ye çıkarmak için gerekli ısıdan *daha* fazla olduğunu Çizelge 7.1 i kullanarak gösteriniz.

ALIŞTIRMA A: $1{,}00 \times 10^3$ kJ ısı açığa çıkması için yakılması gereken sakkarozun kütlesi nedir?

ALIŞTIRMA B: 0,1045 M HCl(suda) örneğinin 25,0 mL si NaOH(suda) ile nötürleştiriliyor. Örnek 7-4 ün sonucunu kullanarak, bu nötürleşmede açığa çıkan ısıyı bulunuz.

tepkime atmosfer basıncında gerçekleştiğinden değişim miktarı q_p ye eşit olan hal fonksiyonu entalpiyi, H, kullanmamız yararlı olacaktır.

Hal Değişimlerinde Entalpi Değişimi (ΔH)

Hava ile temasta bulunan bir sıvı yüzeyindeki moleküller, komşu moleküllerin çekim kuvvetlerini yenerek gaz ya da buhar fazına geçerler. Bu duruma, *sıvının buharlaşması* deriz. Sıvının sıcaklığının sabit kalabilmesi için, sıvının çevreden ısı alarak, buharlaşan moleküllerin götürdüğü enerjiyi yerine koyması gerekir. Belirli bir miktar sıvının buharlaşabilmesi için gerekli ısıya buharlaşma entalpisi (ya da ısısı) denir. Genellikle "belirli bir miktar" deyimi bir mol içindir ve bu durumdaki buharlaşma ısısı *molar buharlaşma entalpisi* diye adlandırılır. Örneğin,

$$H_2O(s) \longrightarrow H_2O(g) \qquad \Delta H = 44{,}0\,\text{kJ, 298 K de}$$

Bir katının erimesi de sayfa 244 de benzer şekilde tanımlanmıştı. Bu durumdaki enerji gereksinimine de erime entalpisi (veya ısısı) denir. Bir mol buzun erimesi için

$$H_2O(k) \longrightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H = 6{,}01\,\text{kJ, 273,15 K de}$$

eşitliklerini yazabiliriz. Bu eşitliklerde belirtilen verileri, diğer verilerle birlikte Örnek 7-8 ve diğer alıştırmalarda kullanabiliriz.

ÖRNEK 7-8 Hal Değişimlerindeki Entalpi Değişimi

50,0 g suyun 10 °C de sıvı halden 25,0 °C de buhar haline geçmesi işlemindeki entalpi değişimini, ΔH, hesaplayınız.

Analiz

Bu hesaplamada kilit, işlemin iki basamakta cereyan ettiğini görmektir: Birinci basamakta sıvı su sıcaklığı 10 °C den 25 °C ye kadar çıkarılır ve ikinci basamakta 25 °C de su tamamen buharlaştırılır. Toplam entalpi değişimi bu iki basamaktaki entalpi değişimlerinin toplamıdır. Sabit basınçtaki bir işlemde $\Delta H = q_P$ olduğuna göre, her basamakta soğurulan ısı hesaplanmalıdır.

Çözüm

$$?\,\text{kJ} = 50{,}0\,\text{g}\,H_2O \times \frac{4{,}18\,\text{J}}{\text{g}\,H_2O\,^\circ\text{C}} \times (25{,}0 - 10{,}0)\,^\circ\text{C} \times \frac{1\,\text{kJ}}{1000\,\text{J}} = 3{,}14\,\text{kJ}$$

SUYUN 10,0 °C DEN 25,0 °C YE ISITILMASI

Gerekli ısı miktarını, eşitlik (7.5) i kullanarak Örnek 7-1 deki gibi buluruz.

25,0 °C DE SUYUN BUHARLAŞMASI

Hesaplamanın bu kısmında, su miktarını mol cinsinden ifade etmemiz gerekir, sonra da 25 °C'deki molar buharlaşma entalpisini kullanırız: 44,0 kJ/mol

$$?\,\text{kJ} = 50{,}0\,\text{g}\,H_2O \times \frac{1\,\text{mol}\,H_2O}{18{,}02\,\text{g}\,H_2O} \times \frac{44{,}0\,\text{kJ}}{1\,\text{mol}\,H_2O} = 122\,\text{kJ}$$

TOPLAM ENTALPİ DEĞİŞİMİ

$$\Delta H = 3{,}14\,\text{kJ} + 122\,\text{kJ} = 125\,\text{kJ}$$

Değerlendirme

Entalpi değişiminin pozitif olduğuna dikkat ediniz. Bu durum sistemin (yani suyun) enerji alması gerektiğini gösterir. Tersi bir işlemde yani, 25,0 °C deki su buharının yoğunlaşması ve 10,0 °C'a kadar soğuması için, yukarıda hesaplanan değerin tersi doğrudur.

ALIŞTIRMA A: Kenar uzunluğu 2,00 cm olan küp şeklinde bir buz örneğinin –10,0 °C den 23,2 °C son sıcaklığa getirilmesindeki entalpi değişimi nedir? Buzun yoğunluğu; 0,917 g/cm^3, özgül ısısı 2,01 J g^{-1} °C^{-1} ve molar erime entalpisi 6,01 kJ/mol dur.

ALIŞTIRMA B: $5{,}00 \times 10^3$ kJ luk ısı ile, –15,0 °C den başlayarak 25,0 °C de buhar oluşturulabilecek buz miktarı en fazla ne kadardır?

Standart Haller ve Standart Entalpi Değişimleri

İlk hal (tepkenler) ve son hal (ürünler) kesin olarak belirli ise bir tepkimenin ölçülen entalpi değişimi belirli bir değerdedir. Tepkenler ve ürünler için bir *standart* hal belirlersek, yani tepkenler ve ürünler kendi standart hallerinde iseler entalpi değişimini de standart entalpi değişimi olarak adlandırırız. Buna **standart tepkime entalpisi** deriz ve $\Delta H°$ simgesi ile gösteririz.

Sıvı ya da katı bir maddenin standart hali, saf element ve bileşiklerin 1 *bar* (1^5 Pa)* basınç altında ve ilgilenilen sıcaklıktaki halidir. Gazların standart hali ise, 1 bar basınç ve ilgilenilen sıcaklıkta bir ideal gaz gibi davranan saf bir gazın halidir. $\Delta H°$ sıcaklığa bağlı olduğundan, standart hal tanımında sıcaklık yer almasa bile, $\Delta H°$ değerini veren çizelgelerde sıcaklık belirtilmelidir. Bu kitapta verilen değerler, aksi belirtilmedikçe, 298,15 K (25°C) de ölçülen değerlerdir.

*Uluslararası Kimya ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) standart basıncın 1 atm den 1 bar a değiştirilmesini 25 yıl kadar önce önermiştir. Bununla beraber, bazı veri çizelgeleri hâlâ 1 atm basınca göre verilmektedir. Neyse ki, bu iki standart arasındaki fark çok küçüktür ve ihmal edilebilir.

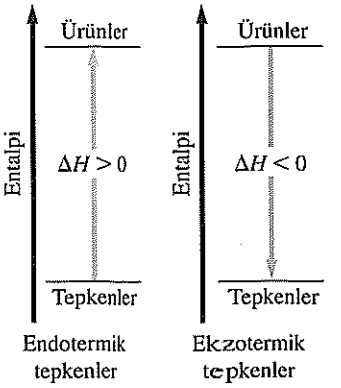
Bu bölümün geri kalan kısmında standart entalpi değişimlerini kullanacağız. Standart olmayan koşulları ise Bölüm 20 de inceleyeceğiz.

Entalpi Diyagramları

Eşitlik (7.16) da ΔH ın işaretinin negatif olması, ürünlerin entalpisinin tepkenlerin entalpisinden küçük olduğunu belirtir. Entalpideki bu *azalma* çevreye ısı verilmesinden ileri gelir. Sakkarozun yanması ekzotermik bir tepkimedir. Aşağıdaki tepkimede ise ürünlerin entalpisi tepkenlerin entalpisinden daha *büyüktür*, yani ΔH pozitiftir.

$$N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,NO(g) \quad \Delta H = +180{,}50\ kJ \qquad (7.17)$$

Bu entalpi artışını sağlamak için tepkime, çevresinden ısı alır. Tepkime endotermiktir. Bir işlemde meydana gelen entalpi değişimlerinin diyagram şeklinde gösterilmiş biçimine **entalpi diyagramı** adı verilir. Şekil 7-15, ekzotermik ve endotermik tepkimelerin diyagramlarının nasıl gösterilebileceğini belirtmektedir.

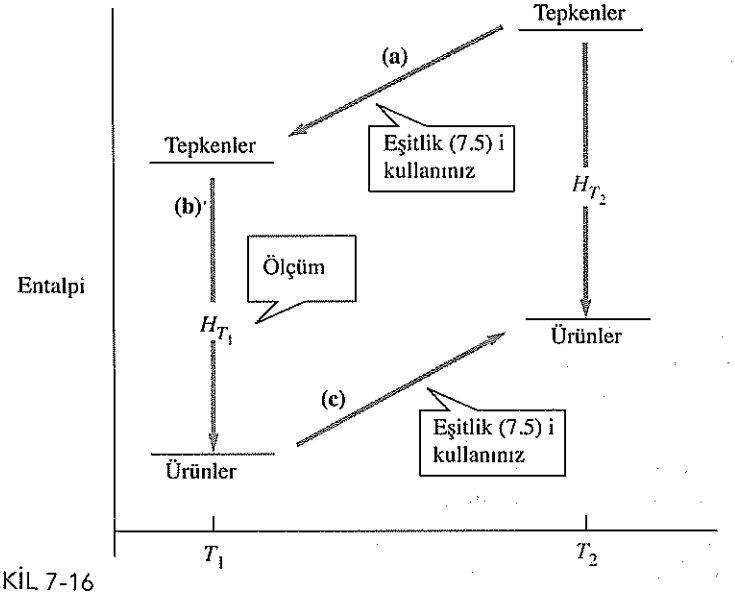


▲ ŞEKİL 7-15
Entalpi diyagramları
Yatay çizgiler entalpinin mutlak değerlerini ifade eder. Yatay çizgi yüksek oldukça H nin değeri büyük demektir. Dikey çizgiler entalpi değişimlerini gösterir (ΔH). Okun yönünün yukarı olması entalpinin arttığını işaret eder (endotermik tepkimeler), okun yönünün aşağı olması entalpinin azaldığını işaret eder (ekzotermik tepkimeler).

7-1 MERAK EDİYORSANIZ...

ΔH neden sıcaklığa bağlıdır?

Bir tepkimenin iki farklı sıcaklıktaki ΔH değerleri arasındaki fark, sabit basınçta tepkenlerin ve ürünlerin bir sıcaklık değerinden diğer sıcaklığa getirildiklerinde ısı değişimleri miktarının ne kadar olduğuna bağlıdır. Bu ısı miktarı eşitlik (7.5) kullanılarak hesaplanabilir. q_P = ısı kapasitesi × sıcaklık farkı = $C_P \times \Delta T$. Bu tür bir ifadeyi her bir tepken ve ürün için yazabilir ve iki farklı sıcaklıktaki ΔH değerleri arasındaki farkı bulmada kullanabiliriz. Genellikle, sıcaklıklar arasındaki fark az ise ΔH değerleri arasındaki fark ihmal edilebilir büyüklüktedir. Bununla beraber, yüksek sıcaklıklarda durum böyle değildir. Bu yöntem Şekil 7-16 da gösterilmiş ve Alıştırma 117 de uygulanmıştır.



▲ ŞEKİL 7-16
ΔH'ın sıcaklıkla değişiminin kavram haline getirilmesi
Burada özetlenen üç-basamaklı süreçte, **(a)** tepkenler T_2 sıcaklığından T_1 sıcaklığına soğutulmuş, **(b)** tepkime T_1 sıcaklığında gerçekleştirilmiş ve **(c)** ürünler T_1 sıcaklığından T_2 sıcaklığına ısıtılmıştır. Her bir basamağa ait ısı miktarlarının birleştirilmesiyle elde edilen ısı miktarı, bu tepkimenin sadece T_2 sıcaklığında gerçekleştirilmesiyle elde edilen ΔH_{T_2} ısı miktarı ile aynı olur.

7-7 ΔH Değerinin Dolaylı Yoldan Belirlenmesi: Hess Yasası

Entalpi kavramının çok yararlı olmasının nedenlerinden biri, az sayıda ölçümler yapılarak çok sayıda tepkime ısısının hesaplanabilmesidir. Bunu yaparken, entalpi değişiminin *(ΔH)* aşağıdaki özelliklerinden yararlanılır.

- **ΔH Bir Kapasite Özelliğidir.** NO(g) gazının 25 °C'de elementlerinden oluşmasındaki standart entalpi değişimini göz önüne alınız.

$$N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,NO(g) \qquad \Delta H^\circ = 180{,}50\ kJ$$

Bir mol NO(g) başına entalpi değişimini belirtmek için bütün katsayılar *ve ΔH değeri ikiye bölünür.*

$$\tfrac{1}{2}N_2(g) + \tfrac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow NO(g) \qquad \Delta H^\circ = \tfrac{1}{2} \times 180{,}50 = 90{,}25\ kJ$$

Entalpi değişimi sistemdeki madde miktarı ile doğru orantılıdır.

- **Tepkime Tersine Döndüğünde ΔH'ın İşareti Değişir.** Sayfa 257 de öğrendiğimiz gibi, işlem tersine döndürüldüğünde, ΔH gibi bir hal fonksiyonunun işareti de tersine döner. Buna göre, bir mol NO(g) gazının *bozunması* için *gerekli olan* ΔH° *değeri, oluşumu* için olanın tersi olur.

$$NO(g) \longrightarrow \frac{1}{2}N_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \qquad \Delta H^\circ = -90{,}25\ kJ$$

- **Hess'in Tepkime Isılarının Toplanabilirliği Yasası.** $NO_2(g)$ nin $N_2(g)$ ve $O_2(g)$ dan oluşmasındaki standart entalpi değişimini bulabilmek için,

$$\frac{1}{2}N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow NO_2(g) \qquad \Delta H^\circ = ?$$

tepkimenin iki basamak üzerinden yürüdüğünü düşünebiliriz: Önce NO (g) nin $N_2(g)$ ve $O_2(g)$ dan ve sonra $NO_2(g)$ nin NO(g) ve O_2 (g) dan oluşumu için eşitlikleri yazar, Şekil 7-17 de kırmızı oklarla gösterildiği gibi toplarsak, mavi okla gösterilen net sonucu elde ederiz.

$$\frac{1}{2}N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow NO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \qquad \Delta H^\circ = +90{,}25\ kJ$$

$$NO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow NO_2(g) \qquad \Delta H^\circ = -57{,}07\ kJ$$

$$\frac{1}{2}N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow NO_2(g) \qquad \Delta H^\circ = +33{,}18\ kJ$$

İki eşitlik toplanırken, net eşitliğin her iki yanında görünen NO(g) nın birbirini götürdüğüne dikkat ediniz. Ayrıca, entalpi diyagramını kullandığımız için gereksiz terim 1/2 $O_2(g)$ önce basamaklarda yer alır ve sonra birbirini götürür. Burada, aşağıdaki şekilde ifade edilen Hess yasasına bir giriş yapmış olduk.

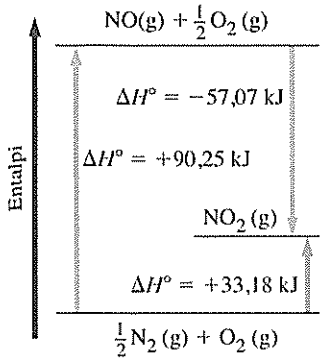
> Bir işlem basamaklar ya da kademeler üzerinden yürüyorsa (düşünsel bile olsa), toplam (net) işlemin entalpi değişimi, tek tek basamakların ya da kademelerin entalpi değişimleri toplamına eşittir.

Hess yasası, entalpinin bir hal fonksiyonu olmasının bir sonucudur. İlk halden son hale gidişte yola bağlı olmaksızın ΔH (veya standart koşullarda ise ΔH°) aynı değere sahiptir.

Aşağıdaki tepkimenin standart entalpi değişimini bulmaya çalışalım.

$$3\,C(\text{grafit}) + 4\,H_2(g) \longrightarrow C_3H_8(g) \qquad \Delta H^\circ = ? \qquad (7.18)$$

▶ Daha önceleri kesirli katsayılardan kaçınmış olmamıza karşın, burada NO(g) nun katsayısını 1 yapmak için kesirlere dokunmuyoruz.



▲ ŞEKİL 7-17
Hess Yasasını Gösteren Bir Entalpi Diyagramı
1/2 $N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow NO_2(g)$ tepkimesi; ister tepkime tek basamakta (mavi ok), ister iki basamakta (kırmızı ok) gerçekleşsin, entalpi değişimi ΔH°=33,18 kJ dür.

UNUTMAYINIZ

ΔH° bir kapasite özelliğidir. Kimyasal bir tepkimede stokiyometrik katsayılar tepkimedeki miktarları belirtir ve ΔH° ın birimi kJ dur. ΔH° bir tepkime için verilmemişse, o zaman hangi miktar için olduğu belirtilmelidir. Örneğin, $C_3H_8(g)$ nın bir molü için $\Delta H^\circ_{\text{yanma}} = -2219{,}9$ kJ / mol $C_3H_8(g)$, olarak belirtilir.

Nasıl bir yol izleyeceğiz? Grafit ile hidrojeni tepkimeye sokmak istersek, tepkime çok az gerçekleşecek ve tamamlanamayacaktır. Dahası, ürün yalnızca propan ile sınırlı kalmaz, aynı zamanda başka ürünler de oluşabilir. Bu nedenle (7.18) tepkimesinin $\Delta H°$ değerini doğrudan ölçemeyiz. Öyleyse, tepkimenin $\Delta H°$ değerini, deneysel olarak saptanmış başka $\Delta H°$ değerlerinden *dolaylı yoldan hesaplamalıyız*. Bu durumda Hess yasasının önemi çok büyüktür. Bu yasa doğrudan ölçemediğimiz ΔH değerlerini he-

ÖRNEK 7-9 Hess Yasasının Uygulaması

7.18 tepkimesinin $\Delta H°$ değerini, sayfa 268 de verilen yanma ısıları yardımıyla bulunuz:

$$3C(\text{grafit}) + 4H_2(g) \longrightarrow C_3H_8(g) \qquad \Delta H°=?$$

Analiz

Entalpi değişimini Hess yasası yardımıyla bulmak için, uygun kimyasal eşitlikleri birleştirmeliyiz. Burada en iyi yol, verilen yanma tepkimelerinin eşitliklerini *bir mol* tepken için yazmaktır. Karbon-hidrojen-oksijen içeren bileşiklerin yanma ürünlerinin $CO_2(g)$ ve $H_2O(s)$ olduğunu hatırlayınız (bakınız sayfa 114).

Çözüm

Aşağıdaki eşitlikleri yazarak başlayalım.

(a) $C_3H_8(g) + 5\,O_2(g) \longrightarrow 3\,CO_2(g) + 4\,H_2O(s)$ $\qquad \Delta H°= -2219{,}9$ kJ

(b) $C(\text{grafit}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ $\qquad \Delta H°= -393{,}5$ kJ

(c) $H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(s)$ $\qquad \Delta H°= -285{,}8$ kJ

Tepkime (7.18)'de amaç $C_3H_8(g)$'yi *elde etmek* olduğundan, ikinci adım $C_3H_8(g)$ oluşturan bir tepkime bulmaktır. Bu da (a) tepkimesinin *tersidir*.

$$-(a)\text{:}\quad 3\,CO_2(g) + 4\,H_2O(s) \longrightarrow C_3H_8(g) + 5\,O_2(g) \qquad \Delta H° = -(-2219{,}9)\text{ kJ} = +2219{,}9\text{ kJ}$$

Şimdi, dikkatimizi C(grafit) ve $H_2(g)$ üzerine toplayalım. Her birini uygun mol sayılarında elde etmek için, (b) eşitliğini üç, (c) eşitliğini dört ile çarpmalıyız.

$$3 \times (b)\text{:}\quad 3\,C(\text{grafit}) + 3\,O_2(g) \longrightarrow 3\,CO_2(g) \qquad \Delta H = 3 \times (-393{,}5\text{ kJ}) = -1181\text{ kJ}$$

$$4 \times (c)\text{:}\quad 4H_2(g) + 2\,O_2(g) \longrightarrow 4\,H_2O(s) \qquad \Delta H = 4 \times (-285{,}8\text{ kJ}) = -1143\text{ kJ}$$

Burada net değişme, 3 mol C(grafit) ve 4 mol $H_2(g)$ harcanması ve 1 mol $C_3H_8(g)$ oluşmasıdır. Bu da (7.18) eşitliğine tam uyar. Şimdi düzenlediğimiz bu üç eşitliği toplayalım.

$$\begin{array}{lrcll} -(a)\text{:} & 3\,CO_2(g) + 4\,H_2O(s) & \longrightarrow & C_3H_8(g) + 5\,O_2(g) & \Delta H° = +2219{,}9\text{ kJ} \\ 3 \times (b)\text{:} & 3\,C(\text{grafit}) + 3\,O_2(g) & \longrightarrow & 3\,CO_2(g) & \Delta H° = -1181\text{ kJ} \\ 4 \times (c)\text{:} & 4\,H_2(g) + 2\,O_2(g) & \longrightarrow & 4\,H_2O(s) & \Delta H° = -1143\text{ kJ} \\ \hline & 3C(\text{grafit}) + 4\,H_2(g) & \longrightarrow & C_3H_8(g) & \Delta H° = -104\text{ kJ} \end{array}$$

Değerlendirme

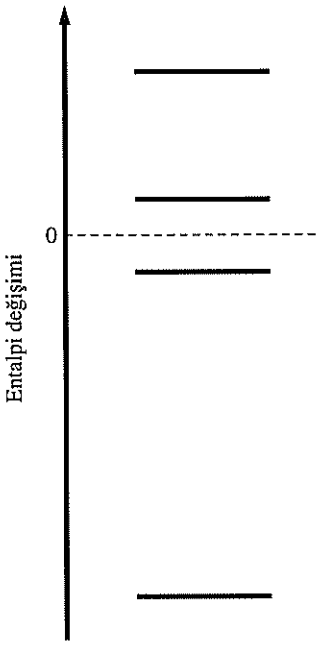
Hess yasası, bir seri ilgisiz tepkimeleri ve entalpi değişimlerini birlikte kullanarak bir tepkimenin entalpi değişimini bulmak için çok güçlü bir tekniktir. Bu örnekte üç ilgisiz yanma tepkimesini alarak başka bir tepkimenin entalpisini bulabildik.

ALIŞTIRMA A: Propilen'in, $C_3H_6(g)$, standart yanma ısısı –2058 kJ/mol $C_3H_6(g)$ dır. Bu değeri ve örnekteki diğer verileri kullanarak, propilenin propana hidrojenlenme tepkimesinin $\Delta H°$ değerini bulunuz.

$$CH_3CH{=}CH_2(g) + H_2(g) \longrightarrow CH_3CH_2CH_3(g) \qquad \Delta H° = ?$$

ALIŞTIRMA B: Alıştırma A daki verileri ve aşağıda verilen eşitliği kullanarak, 1 mol 2-propanol'ün, $CH_3CHOHCH_3(s)$, standart yanma entalpisini bulunuz.

$$CH_3CH{=}CH_2(g) + H_2O(s) \longrightarrow CH_3CH(OH)CH_3(s) \qquad \Delta H° = -52{,}3\text{ kJ}$$



saplamamıza yardımcı olur. (7.18) tepkimesi için $\Delta H°$ değerinin, aşağıda standart yanma ısıları, $\Delta H°_{yanma}$, yardımıyla nasıl hesaplanacağı Örnek 7-9 da gösterilmektedir.

$$\Delta H°_{yanma}\ C_3H_8(g) = -2219{,}9\ kJ/mol\ C_3H_8(g)$$
$$C\,(grafit) = -393{,}5\ kJ/mol\ C(grafit)$$
$$H_2(g) = -285{,}8\ kJ/mol\ H_2(g)$$

7-9 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Karbon (grafit) ve stokiyometrik miktardaki hidrojen gazından C_2H_2 (g), C_2H_4 (g), ve C_2H_6 (g) oluşma tepkimelerinin tepkime ısıları sırasıyla 226,7 , 52,3 ve −84,7 kJ/mol dür. Bu değerleri yandaki entalpi diyagramı ile ilişkilendiriniz. Diyagramda $C_2H_2(g) + 2\,H_2(g) \longrightarrow C_2H_6(g)$ tepkimesinin standart entalpi değişimini gösteriniz.

7-8 Standart Oluşum Entalpileri

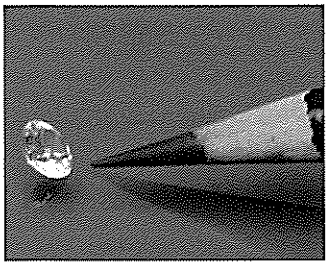
Çizdiğimiz entalpi diyagramlarında entalpi eksenine sayısal değerler yazmadık; çünkü entalpinin, *H mutlak* değerini belirleyemeyiz. Bununla beraber entalpi bir hal fonksiyonudur ve entalpi *değişimi* (ΔH) belirli değerlere sahiptir. Biz bu değişimlerle ilgileniriz. Ancak, diğer bütün özelliklerde olduğu gibi, bunda da bir başlangıç noktası olarak, sıfır noktası (yandaki diyagramda olduğu gibi) belirlememiz yararlı olur.

Benzetme olarak, bir harita çizimini düşünelim. Bir dağın yüksekliğini nasıl tanımlarız? Dağın yüksekliği dediğimizde yerin merkezi ile dağın tepesi arasındaki yüksekliği mi kastederiz, yoksa dağın tepesi ile okyanusun en derin noktası arasını mı belirtmek isteriz? Bunların ikisi de değil. Kastettiğimiz yükseklik deniz yüzeyi ile dağın tepesi arasındaki yüksekliktir. Yani, deniz seviyesinin yüksekliğini *keyfi* olarak sıfır noktası alırız ve yeryüzündeki diğer noktaların yüksekliğini bu sıfır noktasına göre tanımlarız. Örneğin, Everest tepesinin yüksekliği +8848 m, Kaliforniya'daki Ölüm Vadisi'nin yüksekliği −86 m'dir. Benzer bir kabulü entalpi için de yaparız. Elementlerin bazı hallerinin entalpilerini *keyfi* olarak sıfır kabul eder ve bu sıfır noktasına göre diğerlerinin entalpilerini belirleriz.

UNUTMAYINIZ
"Standart oluşum entalpisi" ifadesi ile aslında standart entalpi *değişimini* belirtmek isteriz.

Bir maddenin **standart oluşum entalpisi**, ($\Delta H°_{ol}$), standart halde bir mol maddenin standart haldeki elementlerinin *referans* hallerinden (en kararlı haller) oluşması sırasındaki entalpi *değişimi*dir. Bir kaç durum hariç elementlerin referans halleri; verilen bir sıcaklıkta ve 1 bar basınçta en kararlı halleridir. $\Delta H°_{ol}$ da üstteki (°) işareti entalpi değişiminin standart entalpi değişimi olduğunu, alt indis "ol" ise maddenin elementlerinden "*ol*uşum" tepkimesini belirtir.

Saf elementlerin en kararlı (referans) hallerinde standart oluşum entalpileri 0 dır.



▲ Elmas ve grafit.

Termokimyasal verilerin listelendiği 298,15 K sıcaklığında bazı elementlerin en kararlı halleri aşağıda verilmiştir.

$$Na(k)\quad H_2(g)\quad N_2(g)\quad O_2(g)\quad C(grafit)\quad Br_2(s)$$

Karbonun durumu ilginçtir. Karbon grafit şeklinden başka elmas şeklinde de bulunur. İkisi arasında ölçülebilir bir entalpi farkı vardır ve her ikisi için de $\Delta H°_{ol} = 0$ kabul edilemez.

$$C(grafit) \longrightarrow C(elmas) \qquad \Delta H° = 1{,}9\ kJ$$

Referans hal olarak daha kararlı hali, yani daha düşük entalpili hali seçeriz. Buna göre, $\Delta H°_{ol}(grafit) = 0$ ve $\Delta H°_{ol}(elmas) = 1{,}9$ kJ/mol'dur.

Bromu 298,15 K de hem sıvı hem de gaz halinde elde edebiliriz. Ancak, daha kararlı hali $Br_2(s)$ dir. Eğer 298,15 K ve 1 bar basınçta $Br_2(g)$ elde edilirse, hemen $Br_2(s)$ haline yoğunlaşır.

$$Br_2(s) \longrightarrow Br_2(g) \quad \Delta H^\circ_{ol} = 30{,}91 \text{ kJ}$$

Standart oluşum entalpileri, $\Delta H^\circ_{ol}[Br_2(s)] = 0$ ve $\Delta H^\circ_{ol}[Br_2(g)] = 30{,}91$ kJ/mol dür.

Referans halin en kararlı hal olmadığı, az rastlanan bir durum, fosforda görülür. Beyaz fosfor, zamanla kırmızı fosfora dönüşmesine rağmen, referans olarak alınır.

$$P(k, \text{beyaz}) \longrightarrow P(k, \text{kırmızı}) \quad \Delta H^\circ_{ol} = -17{,}6 \text{ kJ}$$

Standart oluşum entalpileri, $\Delta H^\circ_{ol}[P(k, \text{beyaz})] = 0$ ve $\Delta H^\circ_{ol}[P(k, \text{kırmızı})] = -17{,}6$ kJ/mol dür.

Bazı yaygın maddelerin standart oluşum entalpileri Çizelge 7.2 de verilmiştir. Şekil 7-18 de hem pozitif hem negatif standart oluşum entalpilerinin mümkün olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, buna göre, oluşum entalpilerinin molekül yapısı ile ilişkili olduğu öngörülebilir.

Standart oluşum entalpilerini birçok hesaplamada kullanacağız. Bunun için genellikle yapılacak ilk iş, Örnek 7-10 da olduğu gibi ΔH°_{ol} değerlerini kullanabileceğimiz bir kimyasal eşitlik yazmaktır.

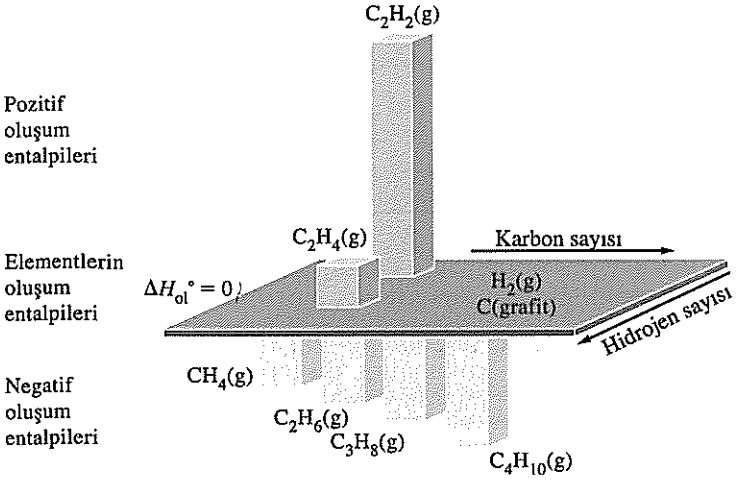


▲ Sıvı brom buharlaşıyor.

ÇİZELGE 7.2 Bazı Standart Oluşum Entalpileri, 298,15 K de ΔH°_{ol}

Bileşik	kJ/mol[a]	Bileşik	kJ/mol[a]
CO(g)	−110,5	HBr(g)	−36,40
$CO_2(g)$	−393,5	HI(g)	26,48
$CH_4(g)$	−74,81	$H_2O(g)$	−241,8
$C_2H_2(g)$	226,7	$H_2O(l)$	−285,8
$C_2H_4(g)$	52,26	$H_2S(g)$	−20,63
$C_2H_6(g)$	−84,68	$NH_3(g)$	−46,11
$C_3H_8(g)$	−103,8	NO(g)	90,25
$C_4H_{10}(g)$	−125,6	$N_2O(g)$	82,05
$CH_3OH(s)$	−238,7	$NO_2(g)$	33,18
$C_2H_5OH(s)$	−277,7	$N_2O_4(g)$	9,16
HF(g)	−271,1	$SO_2(g)$	−296,8
HCl(g)	−92,31	$SO_3(g)$	−395,7

[a] Veriler bir mol bileşiğin oluştuğu tepkimeler içindir. Verilerin çoğu dört anlamlı rakama yuvarlanmıştır.



◀ ŞEKİL 7-18
298,15 K'de bazı standart oluşum entalpileri
Elementlerin standart oluşum entalpileri, $\Delta H^\circ_{ol} = 0$, düzlem içinde gösterilmektedir. Oluşum entalpileri pozitif olan bileşikler düzlemin üstünde, negatif olan bileşikler altında verilmektedir.

ÖRNEK 7-10 Standart Oluşum Entalpisinin Kimyasal Eşitlikle İlişkilendirilmesi

298 K de formaldehitin, HCHO(g), standart oluşum entalpisi $\Delta H^\circ_{ol} = -108{,}6$ kJ/mol dur. Buna uygun bir kimyasal eşitlik yazınız.

Analiz

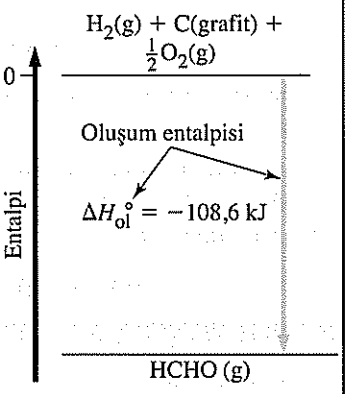
Gaz *halindeki bir mol* HCHO oluşumu için bir eşitlik yazılmalıdır. Hidrojen ve oksijen elementlerinin 298,15 K ve 1 bar'da en kararlı halleri gaz halindeki H_2 ve O_2 iken katı karbon için grafittir (Şekil 7-19). Bu eşitlikte katsayılardan birinin kesirli olduğuna dikkat ediniz.

Çözüm

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) + C(\text{grafit}) \longrightarrow HCHO(g) \qquad \Delta H^\circ_{ol} = -108{,}6 \text{ kJ}$$

Değerlendirme

Bu tarz problemleri yanıtlarken verilen koşullarda elementlerin en kararlı hallerini kullanmamız gerektiğini hatırlamalıyız. Örnekte belirtilen koşullar 298 K ve 1 bar dır.



▲ ŞEKİL 7-19
Formaldehitin, HCHO(g), standart oluşum entalpisi
HCHO(g) nin standart haldeki elementlerinden oluşması ekzotermik bir tepkimedir. HCHO(g) nin molü başına açığa çıkan ısı, formaldehitin standart oluşum entalpisidir.

ALIŞTIRMA A: Bir amino asit olan lösinin standart oluşum entalpisi –637,3 kJ/mol $C_6H_{13}O_2N(k)$ dir. Bu değere uygun bir kimyasal eşitlik yazınız.

ALIŞTIRMA B: Aşağıda verilen tepkimenin ΔH° değeri, Çizelge 7.2 de verilen NH_3 ün standart oluşum entalpisine nasıl bağlıdır? ΔH° değeri nedir?

$$2\,NH_3(g) \longrightarrow N_2(g) + 3\,H_2(g) \qquad \Delta H^\circ = ?$$

7-2 MERAK EDİYORSANIZ...

ΔH°_{ol} değerinin işaretinin önemi nedir?

ΔH°_{ol} değeri pozitif olan bir bileşik, elementlerinden endotermik bir tepkimeyle oluşur. Tepkime ters yönde ilerlerse, bileşik elementlerine ekzotermik bir tepkimeyle bozunur. Bu durumda bileşiğin elementlerine göre kararsız olduğunu söyleriz. Ama bu, bileşiğin kendiliğinden bozunacağı anlamında değildir. Ancak, bileşiğin düşük oluşum entalpilerine sahip ürünler verme eğilimi vardır.

Başka ölçütler verilmediğinde, kimyacılar bazen entalpi değişimini bir kimyasal tepkimenin meydana gelme olasılığının bir belirteci olarak kabul ederler. Ekzotermik tepkimelerin, endotermik tepkimelere göre, dış yardım almadan meydana gelme olasılığı daha fazladır. İlerideki bölümlerde daha iyi ölçütler verilecektir.

Standart Tepkime Entalpileri

Bir tepkimenin tepkenleri ve ürünleri standart hallerinde ise entalpi değişimine *standart* entalpi değişimi denildiğini ve ΔH° veya ΔH°_{tep} şeklinde gösterildiğini öğrendik. Standart oluşum entalpilerinin başlıca kullanıldığı yer, standart tepkime entalpilerinin hesaplanmasıdır.

Hess yasasını, sodyum bikarbonatın bozunma tepkimesinin standart tepkime entalpisini hesaplamada kullanalım. Bu tepkime fırında pişirme işlemlerinde soda kullanıldığında meydana gelir.

$$2\,NaHCO_3(k) \longrightarrow Na_2CO_3(k) + H_2O(s) + CO_2(g) \qquad \Delta H = ? \qquad (7.19)$$

Hess yasası kullanılarak; aşağıdaki dört eşitliğin (7.19) eşitliğini verdiğini görürüz.

(a) $2\,NaHCO_3(k) \longrightarrow 2\,Na(k) + H_2(g) + 2\,C(grafit) + 3\,O_2(g)$
$\Delta H° = -2 \times \Delta H°_{ol}[NaHCO_3(k)]$

(b) $2\,Na(k) + C(grafit) + \frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow Na_2CO_3(k)$
$\Delta H° = \Delta H°_{ol}[Na_2CO_3(k)]$

(c) $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(s)$
$\Delta H° = \Delta H°_{ol}[H_2O(s)]$

(d) $C(grafit) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ $\Delta H° = \Delta H°_{ol}[CO_2(g)]$

$$2\,NaHCO_3(k) \longrightarrow Na_2CO_3(k) + H_2O(s) + CO_2(g) \qquad \Delta H° = ?$$

Eşitlik (a) iki mol [$NaHCO_3(k)$] ın elementlerinden oluşumunu ifade eden eşitliğin *tersi*dir. Yani, (a) tepkimesinin $\Delta H°$ değeri, $\Delta H°_{ol}$ [$NaHCO_3(k)$] değerinin iki katının negatif işaretlisidir. Eşitlik (b), (c) ve (d) sırasıyla *bir* mol $Na_2CO_3(k)$, $CO_2(g)$ ve $H_2O(s)$ oluşum tepkimeleri içindir. Öyleyse bozunma tepkimesinin $\Delta H°$ değerini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$\Delta H° = \Delta H°_{ol}[Na_2CO_3(k)] + \Delta H°_{ol}[H_2O(s)] + \Delta H°_{ol}[CO_2(g)] - 2 \times \Delta H°_{ol}[NaHCO_3(k)] \quad (7.20)$$

Şekil 7-20 deki entalpi diyagramını, Hess yasasının uygulamasını anlamada ve bizi (7.20) eşitliğine götüren entalpinin hal fonksiyonu özelliğini belirtmede kullanabiliriz. Sodyum bikarbonatın iki basamakta bozunduğunu düşünelim. Birinci basamakta, kaptaki 2 mol $NaHCO_3$ ın 2 mol Na(k), 2 mol C(grafit), 1 mol $H_2(g)$ ve 3 mol $O_2(g)$ e bozunduğunu varsayalım [(a) eşitliği]. İkinci basamakta ise 2 mol Na(k), 2 mol C(grafit), 1 mol $H_2(g)$ ve 3 mol $O_2(g)$, yukarıdaki (b), (c) ve (d) eşitliklerine göre birleşerek, ürünü versin.

Gerçekte tepkime Şekil 7-20 deki yolu *izlemez*. Ama bu önemli değildir. Çünkü entalpi bir hal fonksiyonudur ve hal fonksiyonlarındaki değişme seçilen yola bağlı değildir. Net tepkimenin entalpi değişimi, tek tek basamakların standart entalpi değişimlerinin toplamıdır.

$$\Delta H° = \Delta H°_{bozunma} + \Delta H°_{oluşum}$$
$$\Delta H°_{bozunma} = -2 \times \Delta H°_{ol}[NaHCO_3(k)]$$
$$\Delta H°_{oluşum} = \Delta H°_{ol}[Na_2CO_3(k)] + \Delta H°_{ol}[H_2O(s)] + \Delta H°_{ol}[CO_2(g)]$$

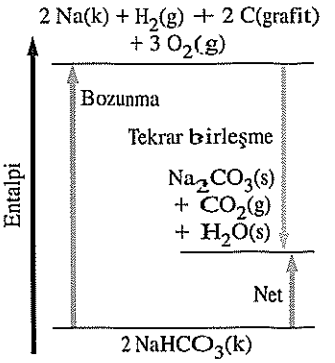
Öyleyse

$$\Delta H° = \Delta H°_{ol}[Na_2CO_3(k)] + \Delta H°_{ol}[H_2O(s)] + \Delta H°_{ol}[CO_2(g)] - 2 \times \Delta H°_{ol}[NaHCO_3(k)]$$

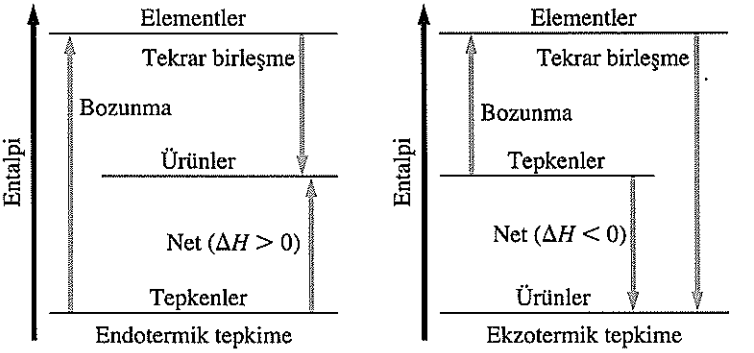
Eşitlik (7.20), standart tepkime entalpileri için aşağıda verilen genel bağıntının bir uygulamasıdır.

$$\Sigma v_ü \Delta H°_{ol}(ürünler) - \Sigma v_t \Delta H°_{ol}(tepkenler) \qquad 7.21$$

Σ işareti (Latince, sigma) "toplam" anlamındadır. Yukarıdaki toplanan terimler, standart oluşum entalpilerinin ($\Delta H°_{ol}$) stokiyometrik katsayılar ile çarpıldıktan sonraki toplamıdır. Tepkimenin entalpi değişimi, ürünlere ait terimlerin toplamından, tepkenlere ait terimlerin *çıkarılması* ile elde edilir. Eşitlik (7.21), birçok kimyasal tepkime ile uğraşmadan sonuca ulaşmamızı sağlar. Eşitlik (7.21) in hal fonksiyonu özelliğine dayandığı Şekil 7-21 de gösterilmiş ve Örnek 7-11 de uygulanmıştır.



▲ ŞEKİL 7-20
Standart oluşum entalpilerinden tepkime ısılarının hesaplanması
Entalpi bir hal fonksiyonu olduğundan $2\,NaHCO_3(k) \longrightarrow Na_2CO_3(k) + CO_2(g) + H_2O(s)$ net tepkimenin $\Delta H°$ değeri, gösterilen iki basamağın entalpi değişimlerinin toplamıdır.



▶ ŞEKİL 7-21
Eşitlik (7-21) in diyagram halinde gösterimi

ÖRNEK 7-11 $\Delta H°$ Değerinin Çizelge Halindeki $\Delta H°_{ol}$ Değerlerinden Hesaplanması

Doğal gazın bir bileşeni olan etanın, $C_2H_6(g)$ standart yanma entalpisini hesaplanmak için Eşitlik (7.21) i uygulayalım.

Analiz

Bu tip bir problem doğrudan doğruya eşitlik (7.21) in bir uygulamasıdır. Ek D, belirli bileşikler için standart oluşum entalpisi de dahil olmak üzere termodinamik verileri içermektedir.

Çözüm

Tepkime şöyledir.

$$C_2H_6(g) + \frac{7}{2}O_2(g) \longrightarrow 2\,CO_2(g) + 3\,H_2O(s)$$

Bize gereken Eşitlik (7.21) dir. Çizelge 7.2 deki uygun değerleri bağıntıda yerine koyalım.

$$\begin{aligned}\Delta H° &= \{2\,\text{mol}\,CO_2 \times \Delta H°_{ol}[CO_2(g)] + 3\,\text{mol}\,H_2O \times \Delta H°_{ol}[H_2O(s)]\} \\ &\quad - \{1\,\text{mol}\,C_2H_6 \times \Delta H°_{ol}[C_2H_6(g)] + \frac{7}{2}\text{mol}\,O_2 \times \Delta H°_{ol}[O_2(g)]\} \\ &= 2\,\text{mol}\,CO_2 \times (-393{,}5\,\text{kJ/mol}\,CO_2) + 3\,\text{mol}\,H_2O \times (-285{,}8\,\text{kJ/mol}\,H_2O) \\ &\quad - 1\,\text{mol}\,C_2H_6 \times (-84{,}7\,\text{kJ/mol}\,C_2H_6) - \frac{7}{2}\text{mol}\,O_2 \times 0\,\text{kJ/mol}\,O_2 \\ &= -787{,}0\,\text{kJ} - 857{,}4\,\text{kJ} + 84{,}7\,\text{kJ} = -1559{,}7\,\text{kJ}\end{aligned}$$

Değerlendirme

Bu tip problemlerde ürünlerin standart oluşum entalpileri toplamından, tepkenlerin standart oluşum entalpileri toplamını çıkardığımızdan emin olmalıyız. Ayrıca elementlerin en kararlı hallerinin standart oluşum entalpilerinin sıfır olduğunu unutmamalıyız, buna göre herhangi bir hesaplamada $\Delta H°_{ol}[O_2(g)]$ içeren terimi hemen atmalıyız.

ALIŞTIRMA A: 298,15 K de etanolun, $[CH_3CH_2OH(s)]$ standart yanma entalpisini Çizelge 7.2 deki verileri kullanarak hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: C_3H_8 ve C_4H_{10} içeren bir gaz yakıtın, *bir molü başına* standart yanma entalpisini 298,15 K de hesaplayınız. C_3H_8 ve C_4H_{10} mol kesirlerini sırasıyla 0,62 ve 0,38 alınız.

Örnek 7-11 de gösterilen kadar önemli diğer bir hesaplama yöntemi de, bilinmeyen bir $\Delta H°_{ol}$ değerinin bilinen bir dizi $\Delta H°_{ol}$ değerleri ve bilinen standart tepkime entalpisinden hesaplanmasıdır. Burada gerekli basamak, (7.21) ifadesini, bilinmeyen $\Delta H°_{ol}$ u eşitliğin bir tarafında kalacak şekilde tıpkı Örnek 7-12 deki gibi düzenlemektir. Ayrıca, verilerin doğru düzenlenmesi de size yardımcı olabilir.

ÖRNEK 7-12 Bilinmeyen ΔH°_{ol} Değerinin Hesaplanması

Benzenin, $C_6H_6(s)$, ΔH°_{ol} değerini Çizelge 7.2 deki verileri kullanarak hesaplayınız.

$$2\,C_6H_6(s) + 15\,O_2(g) \longrightarrow 12\,CO_2(g) + 6\,H_2O(s) \qquad \Delta H^\circ = -6535\ kJ$$

Analiz

Kimyasal bir eşitliğimiz var ve bunun standart tepkime entalpisini biliyoruz. Bize standart oluşum entalpisinin nasıl hesaplanacağı soruluyor. Eşitlik (7.21) standart tepkime entalpisini, tepkenlerin ve ürünlerin standart oluşum entalpileri ile ilişkilendirir. Önce tepkimenin kimyasal eşitliğini yazarız, sonra hesaplamada gerekli olan ΔH°_{ol} değerlerini bu eşitlikteki kimyasal formüllerin altına yazarız.

Çözüm

$$2\,C_6H_6(s) + 15\,O_2(g) \longrightarrow 12\,CO_2(g) + 6\,H_2O(s) \qquad \Delta H^\circ = -6535\ kJ$$

ΔH°_{ol}, kJ/mol	?	0	−393,5	−285,8

Şimdi de, bilinen verileri eşitlik (7.21) de yerine koyar ve eşitliği tekrar düzenleyerek, $\Delta H^\circ_{ol}[C_6H_6(s)]$ terimini solda yalnız bırakırız. Problemin geri kalanı sadece basit bir sayısal hesaplamadır.

$$\Delta H^\circ = \{12\,mol\,CO_2 \times -(393{,}5\,kJ/mol\,CO_2) + 6\,mol\,H_2O \times (-285{,}8\,kJ/mol\,H_2O)\} - 2\,mol\,C_2H_6 \times \Delta H^\circ_{ol}[C_6H_6(l)] = -6535\ kJ$$

$$\Delta H^\circ_{ol}[C_6H_6(s)] = \frac{\{-4722\,kJ - 1715\,kJ\} + 6535\,kJ}{2\,mol\,C_6H_6} = 49\,kJ/mol\,C_6H_6(s)$$

Değerlendirme

Verileri gösterildiği şekilde düzenleyerek, bilinmeyenin ne olduğunu anlayabilir ve eşitlik (7.21) i nasıl kullanabileceğimizi görebiliriz. Doğru yanıtı bulabilmek için bileşiklerin fiziksel hallerini doğru yazmalıyız. Yanma tepkimelerinde ürünlerdeki su daima sıvı haldedir. Eğer suyun gaz halinin standart oluşum entalpisini kullanırsak yanlış yanıt elde ederiz.

ALIŞTIRMA A: Bitkilerdeki fotosentez olayında gerçekleşen net tepkime

$$6\,CO_2(g) + 6\,H_2O(s) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(k) + 6\,O_2(g) \qquad \Delta H^\circ = 2803\ kJ$$

şeklindedir. Glukozun, $C_6H_{12}O_6(k)$, 298 K de standart oluşum entalpisini bulunuz.

ALIŞTIRMA B: Gaz halindeki dimetil eterin, 298 K de standart yanma entalpisi kimya el kitaplarında −31,70 kJ/g $(CH_3)_2O(g)$ olarak verilir. Dimetil eterin 298 K de standart molar oluşum entalpisi nedir?

Çözeltilerde İyonik Tepkimeler

Sulu çözeltilerde gerçekleştirilen kimyasal tepkimelerin çoğu iyonlar arası tepkimeler olarak düşünülür ve net iyonik eşitliklerle gösterilir. Kuvvetli bir asitle kuvvetli bir bazın nötürleşmesini düşününüz. Örnek 7-4 de elde edilenden daha doğru bir nötürleşme entalpisi kullanarak, şu eşitliği yazabilirsiniz:

$$H^+(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H^\circ = -55{,}8\ kJ \qquad (7.22)$$

Bu nötürleşme entalpisini, oluşum entalpilerini kullanarak, (7.21) eşitliğinden *hesaplayabiliriz*. Ama bunun için iyonların oluşum entalpileri gerekir. Bu entalpileri elde etmek kolay değildir. Çünkü bir kimyasal tepkimede iyonlar tek başlarına meydana gelmezler. NaCl de Na^+ ve Cl^- gibi, katyon ve anyonlar birlikte meydana gelirler. İyonların oluşum entalpilerini belirleyebilmek için bir iyon seçmeliyiz ve bu iyonun sulu çözeltilerinde *sıfır* oluşum entalpisine sahip olduğunu *kabul* etmeliyiz. Daha sonra, diğer iyonların oluşum entalpilerini bu iyona göre saptamalıyız. Bu amaçla seçilen iyon $H^+(suda)$ dur. Şimdi, eşitlik (7.22) deki verilerden yararlanarak, $OH^-(suda)$ iyonunun oluşum entalpisini elde etmek için eşitlik (7.21) i nasıl kullanabileceğimizi görelim.

$$\Delta H^\circ = 1\,\text{mol}\,H_2O \times \Delta H^\circ_{ol}[H_2O(s)] - \{1\,\text{mol}\,H^+ \times \Delta H^\circ_{ol}[H^+(\text{suda})] + 1\,\text{mol}\,OH^- \times \Delta H^\circ_{ol}[OH^-(\text{suda})]\} = -55{,}8\,\text{kJ}$$

$$\Delta H^\circ_{ol}[OH^-(\text{suda})] = \frac{55{,}8\,\text{kJ} + (1\,\text{mol}\,H_2O \times \Delta H^\circ_{ol}[H_2O(s)]) - (1\,\text{mol}\,H^+ \times \Delta H^\circ_{ol}[H^+(\text{suda})])}{1\,\text{mol}\,OH^-}$$

$$\Delta H^\circ_{ol}[OH^-(\text{suda})] = \frac{55{,}8\,\text{kJ} - 285{,}8\,\text{kJ} - 0\,\text{kJ}}{1\,\text{mol}\,OH^-} = -230{,}0\,\text{kJ/mol}\,OH^-$$

Çizelge 7.3 de sulu çözeltilerdeki bazı yaygın iyonlarla ilgili değerler verilmiştir. Çözeltideki oluşum entalpileri çözünen türün derişimine bağlıdır. Bu veriler *seyreltik* çözeltiler (çoğunlukla çalıştığımız derişim olan yaklaşık 1 M) için verilmiştir. Bu verilerin bazıları Örnek 7-13 de kullanılmıştır.

ÇİZELGE 7.3 298,15 K de Sulu Çözeltilerde Bazı İyonların Standart Oluşum Entalpileri, ΔH°_{ol}

İyon	kJ/mol	İyon	kJ/mol
H^+	0	OH^-	−230,0
Li^+	−278,5	Cl^-	−167,2
Na^+	−240,1	Br^-	−121,6
K^+	−252,4	I^-	−55,19
NH_4^+	−132,5	NO_3^-	−205,0
Ag^+	105,6	CO_3^{2-}	−677,1
Mg^{2+}	−466,9	S^{2-}	33,05
Ca^{2+}	−542,8	SO_4^{2-}	−909,3
Ba^{2+}	−537,6	$S_2O_3^{2-}$	−648,5
Cu^{2+}	64,77	PO_4^{3-}	−1277
Al^{3+}	−531		

ÖRNEK 7-13 İyonik Tepkimede Entalpi Değişiminin Hesaplanması

$\Delta H^\circ_{ol}[BaSO_4(k)] = -1473$ kJ/mol olduğuna göre, baryum sülfatın çökmesinde standart entalpi değişimi nedir?

Analiz

Önce tepkimenin net iyonik eşitliğini yazalım ve ilgili verileri yerine koyalım. Daha sonra eşitlik (7.21)'i kullanalım.

Çözüm

$$Ba^{2+}(\text{suda}) + SO_4^{2-}(\text{suda}) \longrightarrow BaSO_4(k) \qquad \Delta H^\circ = ?$$

ΔH°_{ol}, kJ/mol	−537,6	−909,3	−1473

Daha sonra bu verileri eşitlik (7.21) de yerine yerleştirelim:

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ &= 1\,\text{mol}\,BaSO_4 \times \Delta H^\circ_{ol}[BaSO_4(s)] - 1\,\text{mol}\,Ba^{2+} \times \Delta H^\circ_{ol}[Ba^{2+}(\text{suda})] - 1\,\text{mol}\,SO_4^{2-} \times \Delta H^\circ_{ol}[SO_4^{2-}(\text{suda})] \\ &= 1\,\text{mol}\,BaSO_4 \times (-1473\,\text{kJ/mol}\,BaSO_4) - 1\,\text{mol}\,Ba^{2+} \times (-537{,}6\,\text{kJ/mol}\,Ba^{2+}) \\ &\quad - 1\,\text{mol}\,SO_4^{2-} \times (-909{,}3\,\text{kJ/mol}\,SO_4^{2-}) \\ &= -1473\,\text{kJ} + 537{,}6\,\text{kJ} + 909{,}3\,\text{kJ} = -26\,\text{kJ}\end{aligned}$$

Değerlendirme

Burada bulunan standart tepkime entalpisi, sistem (yani iyonik tepkime) tarafından salınan ısı değeridir.

ALIŞTIRMA A: $\Delta H^\circ_{ol}[AgI(k)] = -61{,}84$ kJ/mol verildiğine göre, gümüş iyodürün çökmesinde standart entalpi değişimi nedir?

ALIŞTIRMA B: $Ag_2CO_3(k)$ nın çökmesinde standart entalpi değişimi bir mol $Ag_2CO_3(k)$ için −39,9 kJ'dür. $\Delta H^\circ_{ol}[Ag_2CO_3(k)]$ değeri nedir?

7-10 KAVRAM DEĞERLENDİRME

298,15 K deki standart oluşum entalpilerini kullanarak 373,15 K deki tepkimenin ısısını bulmak mümkün müdür? Eğer mümkünse bunu nasıl yapabileceğinizi açıklayınız. Eğer bunun için size gerekli olabilecek ek veriler varsa bunları belirtiniz.

7-9 Enerji Kaynağı Olarak Yakıtlar

Termokimyasal ölçümler ve hesaplamaların en büyük yararlarından biri, maddelerin enerji kaynağı olarak kullanılıp kullanılamayacağının değerlendirilebilmesidir. Yakıt adı verilen maddelerin büyük bir bölümü yanmaları sırasında bol enerji verirler. Bu kesimde bazı yakıtları kısaca gözden geçireceğiz.

Fosil Yakıtlar

Enerji gereksiniminin büyük çoğunluğu fosil yakıtlar denen petrol, doğal gaz ve kömür tarafından karşılanır. Bu yakıtlar milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvanlardan oluşmuştur ve içlerindeki enerji *fotosentez* yoluyla tutulan güneş enerjisidir. Fotosentez olayında CO_2 ve H_2O, klorofil katalizörlüğünde ve güneş ışığı varlığında *karbonhidratlara* dönüşür. Karbonhidratlar $C_m(H_2O)_n$ formülü ile gösterilir ve burada m ve n birer tamsayıdır. Örneğin, bir şeker olan glukozda $m = n = 6$ dır ve glukozun formülü $C_6(H_2O)_6 = C_6H_{12}O_6$ dır. Glikozun fotosentezle oluşumu *endotermik* bir tepkimedir ve aşağıdaki gibi gösterilir.

◀ $C_m(H_2O)_n$ formülü, karbonun hidratını akla getirirse de, bu karbonhidratların kısa gösterilişidir. Karbonhidratlarda, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ kristaline benzer H_2O birimleri yoktur. $C_m(H_2O)_n$ formülünde sadece H ve O'nun sayısal oranları H_2O ile aynıdır.

$$6\,CO_2(g) + 6\,H_2O(s) \xrightarrow[\text{güneş ışığı}]{\text{klorofil}} C_6H_{12}O_6(k) + 6\,O_2(g) \quad \Delta H^\circ = +2{,}8 \times 10^3\,\text{kJ} \tag{7.23}$$

Eşitlik (7.23) yanma olayında olduğu gibi ters çevrilirse, glukozun yanmasına ait ısı açığa çıkar. Yani yanma tepkimesi *ekzotermiktir*.

Mol kütlesi 500 000 akb ye kadar değişebilen ve karmaşık bir karbonhidrat olan selüloz, bitkilerin temel yapı taşıdır. Bitki, havasız ortamda bakteriler tarafından parçalanırsa (çürürse), O ve H atomları uzaklaşır ve maddenin karbon içeriği zamanla artar.

Bataklık kömürü (turba) ⟶ linyit (32% C) ⟶
yarı -taş kömürü (40% C) ⟶ taş kömürü (60% C) ⟶ antrasit kömür (80% C)

Bu olayın antrasit kömürüne kadar ulaşması yaklaşık 300 milyon yıl alır. Buna göre kömür; karbon, hidrojen, oksijen, az miktarda azot, kükürt ve diğer mineralleri (kül) içeren organik bir kayadır. (Bir "molekül" taş kömürü $C_{153}H_{115}N_3O_{13}S_2$ formülü ile gösterilebilir.)

Petrol ve doğal gaz farklı bir yolla oluşur. Eski denizlerde yaşayan bitki ve hayvan artıkları deniz dibine çökmüşler, bakterilerce bozunmuşlar ve üzerleri çamur ve kumla kaplanmıştır. Kum ve çamur zamanla kum taşına dönüşmüştür. Sıcaklık ve kumtaşı kayalarının uyguladığı basınç, organik maddeleri petrol ve doğal gaza çevirmiştir. Bu birikimin yaşı 250 ile 500 milyon yıl arasındadır.

Tipik bir doğal gaz yaklaşık % 85 metan (CH_4), % 10 etan (C_2H_6), % 3 propan (C_3H_8) ve az miktarlarda diğer yanıcı ya da yanıcı olmayan maddeler içerir. Tipik bir petrol ise bir karbonlu moleküllerden C_1 yani (CH_4), kırk karbonlu moleküllere C_{40}, (örneğin, $C_{40}H_{82}$) kadar değişen yüzlerce farklı hidrokarbondan meydana gelir.

ÇİZELGE 7.4
Bazı Yakıtların Yaklaşık Yanma Isıları

Yanma Isıları

Yakıt	kJ/g
Belediye Atıkları	−12,7
Selüloz	−17,5
Çam odunu	−21,2
Metanol	−22,7
Bataklık(turba)	−20,8
kömürü	
Taş kömürü	−28,3
İzooktan (benzinin bir bileşeni)	−47,8
Doğal gaz	−49,5

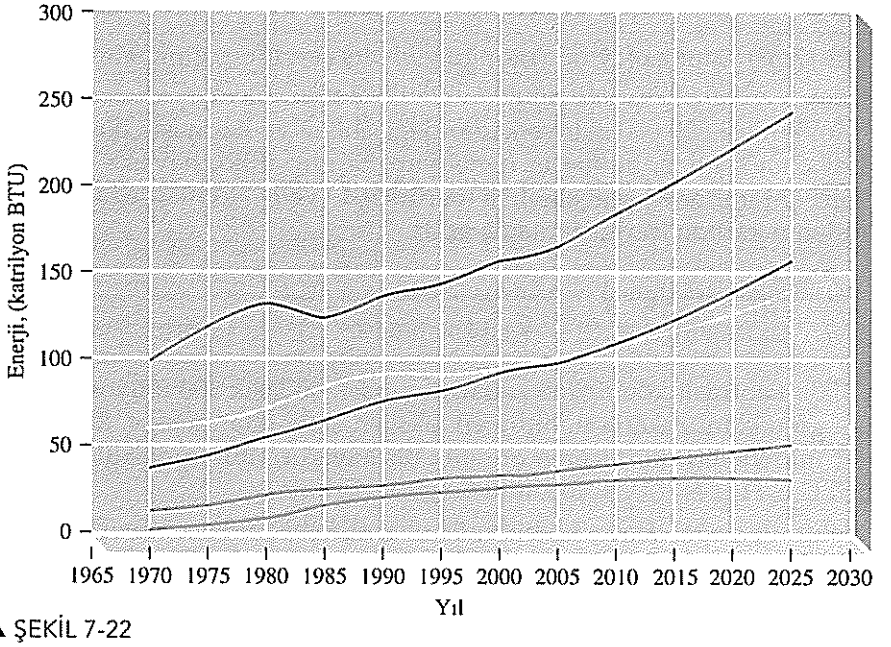
Farklı yakıtları birbiriyle kıyaslama yollarından birisi, yanma ısılarını karşılaştırmaktır. Genel olarak, *yanma ısısı daha yüksek olan yakıt daha iyi bir yakıttır.* Fosil yakıtlarının yaklaşık yanma ısıları Çizelge 7.4 de verilmektedir. Çizelgedeki verilere göre odun, alkol ve çöp gibi *biyolojik çıkışlı* yakıtlara göre fosil yakıtlarının birim kütle başına daha fazla enerji verdikleri görülmektedir.

Fosil Yakıt Kullanımında Sorunlar. Fosil yakıt kullanımında başlıca iki sorun vardır. Birincisi, fosil yakıtları kısa vadede *yenilenemez* yakıt kaynaklarıdır. Bunlar çok uzun sürede oluşurlar ve oluşma hızları tüketilme hızlarına asla yetişemez. Yani, fosil yakıtlar *yenilenemeyen* enerji kaynaklarıdır. Şekil 7-22 de bu yakıtların tükeneceği tahmini süre verilmektedir. Bu süre, insanlığın öngörülen varlık süresi yanında çok kısadır. İkinci sorun çevresel etkidir. Yakıtlarda safsızlık olarak bulunan kükürt, yanma sırasında kükürt oksitlerine dönüşür. Ayrıca, yanma sırasında açığa çıkan yüksek ısı havadaki N_2 ve O_2 nin tepkimeye girerek azot oksitleri vermesine neden olur. Kükürt ve azot oksitleri hava kirliliğine neden olurlar ve asit yağmuru adı verilen çevre kirliliği sorununu ortaya çıkarırlar. Fosil yakıtların kaçınılamayan diğer bir yanma ürünü karbon dioksittir ve bu gaz "sera" etkisi yaparak *küresel ısınmaya* neden olabilen ve dünyanın iklimini değiştirebilecek gazlardan biridir.

▶ Azot ve kükürdün oksitleri ile ilgili çevre sorunları kitabın ileri bölümlerinde daha geniş olarak tartışılmıştır.

Küresel Isınma —Karbondioksit İçeren Bir Çevre Sorunu Normal olarak karbon dioksiti hava kirletici olarak pek düşünemeyiz. Çünkü karbon dioksit havanın gerekli ve doğal bir bileşeni olup zehirli bir bileşik değildir. Bununla beraber çevre üzerinde önemli etkisi vardır ve atmosferde $CO_2(g)$ birikmesi dünyanın enerji dengesini bozar.

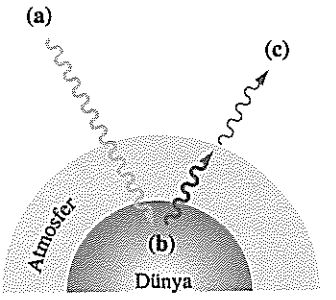
Dünya atmosferi oldukça saydam olup güneşten gelen görünür ışık ve UV ışınlarını çok fazla geçirir. Bu ışıma dünya yüzeyinde soğurulur ve



▲ ŞEKİL 7-22
Enerji Kaynaklarının Dünya Tüketimi
Bu grafikler, 1970 den itibaren enerji tüketimini 2025 dekini de ön görerek göstermektedir. Petrol (koyu mavi çizgi) geleceğin ana enerji kaynağıdır, bunu hemen hemen aynı olan kömür (sarı) ve doğal gaz (pembe) takip etmektedir. Diğer enerji kaynakları, rüzgar gücü (mor) ve nükleer enerji (açık mavi) dir. BTU, enerji birimi olup, İngiliz ısı birimidir (bakınız Alıştırma 95) [*Kaynak*: www.eia.doe.gov/oiaf/izo/pdf/ieoreftap-2 pdf.]

yüzey ısınır. Bu soğurulan enerjinin bir kısmı kızılötesi ışınlar şeklinde tekrar yayımlanır.

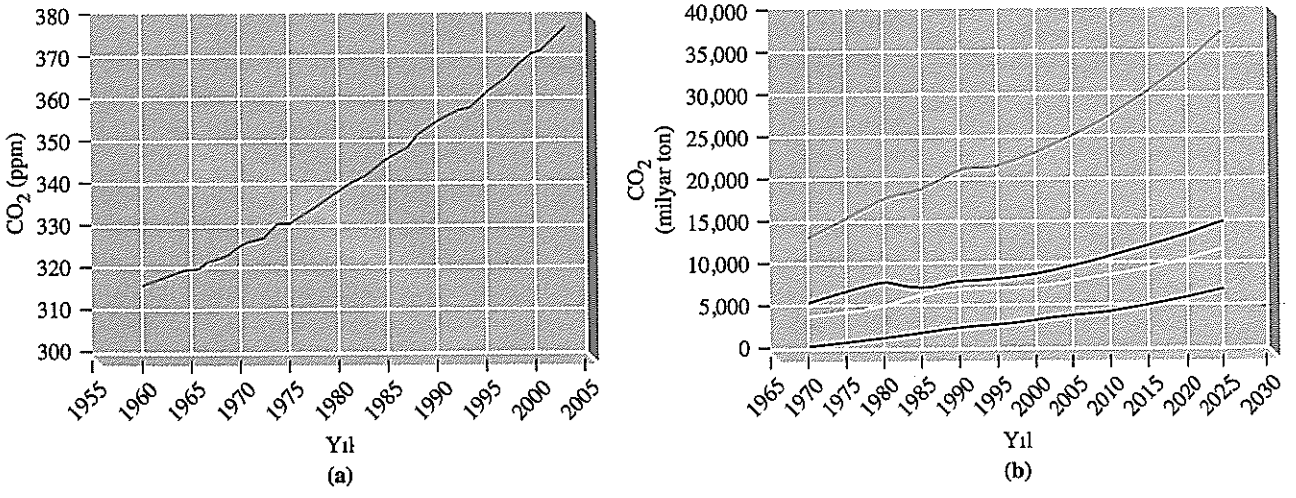
Bazı atmosfer gazları, özellikle CO_2, metan ve su buharı bu kızılötesi ışınlarının bir kısmını soğurur, böylelikle enerji atmosferde kalarak ısınma etkisi yapar. Şekil 7-23 de özetlenen bu süreç, ısıl enerjinin serada tutulmasına benzer ve "sera etkisi" olarak adlandırılır. Aslında doğal sera etkisi, Dünyada yaşamın sürdürülebilmesi için uygun bir sıcaklığın korunması gereklidir. Bu etki olmasaydı, dünya sürekli olarak buzla kaplı kalırdı.



▲ ŞEKİL 7-23
Sera etkisi
(a) Güneşten gelen ışımanın bir kısmı atmosfer tarafından uzaya geri yansıtılır, ancak UV ışını gibi bir kısım ışınlarda stratosferdeki ozon tarafından soğurulur. Güneşten gelen ışımanın çoğu Dünya yüzeyine ulaşır. **(b)** Dünya yüzeyi bu ışımanın bir kısmını kızılötesi ışıması olarak geri yayınlar. **(c)** Dünya atmosferini terk eden kızılötesi ışıması, Dünyanın yüzeyinden yayınlanandan daha az şiddetlidir. Çünkü bu ışımanın bir kısmı CO_2, bir kısmı da sera gazları tarafından soğurulur ve atmosfer ısınır.

Geçen 400 000 yılda, atmosferdeki karbon dioksit derişimi 180'den 300 ppm'e değişmiş (ppm = milyonda bir kısım), endüstri öncesinde 285 ppm değerine ulaşmıştır. Bu düzey 2005 yılından itibaren 375 ppm'e yükselmiş ve hala da yükselmeye devam etmektedir (Şekil 7-24). Odun, kömür, doğal gaz ve benzin gibi karbon içeren yakıtların yakılması (Şekil 7-23) ve tropik bölgelerdeki ağaçların kesilmesi (bitkiler fotosentez için atmosferdeki CO_2 kullanılırlar) atmosferdeki karbon dioksit derişiminin artmasına neden olmaktadır. CO_2 birikmesiyle birlikte, sonuçta dünyanın ortalama sıcaklığı artar ve **küresel ısınma** meydana gelir. Endüstriyel çağdan başlamak üzere bulunduğumuz yüzyılın sonuna doğru CO_2 içeriğinin iki katına çıkmasıyla, küresel sıcaklığın ortalama olarak 1,5 ile 4,5 °C arasında artacağı tahmin edilmektedir.

Atmosferde CO_2 birikmesinin yaratabileceği etkiler bilgisayar modellemeleriyle belirlenmektedir. Ancak bu modellemelerde olası bütün faktörleri dâhil etmek ve önemini belirtmek çok zordur. Örneğin, küresel ısınma suyun buharlaşmasının ve bulut oluşumunun artmasına neden olur. Bulutların artması, güneşten dünya yüzeyine ulaşan ışımanın miktarını azaltır, yani bir dereceye kadar küresel ısınmayı da azaltır.



▲ ŞEKİL 7-24
ŞEKİL 7-24 Atmosferin Karbondioksit İçeriğindeki Artış
(a) 50 yıllık süre için, dünya çapında örnekleme ağı tarafından ölçülen, atmosferdeki ortalama küresel CO_2 seviyesi (hacimce milyonda bir kısım olarak, ppm) **(b)** 55 yıllık süre için doğal gaz (pembe), kömür (sarı), petrol (koyu mavi) ve bütün kaynaklardan (açık mavi) CO_2 yayınlanmasının gerçek ve tahmini miktarları. Atmosferin CO_2 içeriği 2003 yılındaki yaklaşık 375 ppm'den, 2008'deki 385 ppm'e artmaya devam etmektedir.

*Cam, tıpkı CO_2 gibi, görünür ışığı ve bazı UV ışınlarını geçirir, ancak kızıl ötesi ışınları (IR) soğurur. Serada kullanılan camın birinci görevi ise, sıcak havanın büyük oranda kaçmasına engel olmaktır.



▲ Antartika'daki bir buz tabakasından soğutulmuş temiz bir odada bir buz parçası kesilmiştir. Bu buz çekirdek, arasına hapsolmuş gazları, eser elementleri ve miktarlarını belirlemek için analiz edilmiştir. Bu veriler geçmişte, iklimdeki değişiklikleri ve atmosferdeki kirlenme eğilimi hakkında bilgi edinmek için kullanılmıştır.

Küresel ısınmanın bazı önemli etkileri aşağıda verilmiştir.

- Yerel sıcaklık değişimlerine neden olur. Alaska ve Kuzey Kanada'nın yıllık ortalama sıcaklıkları son 50 yılda 1,9 °C artmıştır. Bu süre içinde Alaska'nın kış sıcaklıkları ortalama 3,5 °C artmıştır.
- Denizlerdeki su seviyesinin yükselmesine sebep olur. Bunun nedeni, deniz suyunun termal genleşmesi ve kıtasal buz dağlarının artan şekilde erimesidir. Deniz seviyesindeki 1 m lik bir yükselme, sadece Bangladeş'de 2100 yılında 1 milyon insanın yer değiştirmesine neden olacaktır.
- Bitkilerin ve hayvanların göçüne neden olur. Şimdi dünyanın bazı karakteristik alanlarında yapılmakta olan tarım, kutuplara doğru yüzlerce kilometre göç etmek zorunda kalabilecektir. Sıtma gibi hastalıkların olduğu alanlar genişliyecektir.

Bazıları küresel ısınmayı nüfus artışına bağlamaktadırlar. Antartika buzulu arasına sıkışmış küçük bir hava kabarcığının analizi geçen 160 000 yıldaki CO_2 içeriği ile sıcaklık arasındaki ciddi bir ilişkiyi göstermektedir. Yani, düşük CO_2 seviyelerinde düşük sıcaklıklar gözlenmekte ve CO_2 düzeyi yükseldikçe sıcaklık da artmaktadır.

Sera etkisi yapan gaz sadece CO_2 değildir. Diğer bazı gazlar, özellikle metan (CH_4), ozon (O_3), nitröz oksit (N_2O), floroklorokarbonlar (CFCs) gibi gazlar, kızılötesi ışınları daha güçlü soğururlar. Bu gazlardan bazılarının atmosferdeki derişimleri CO_2 e göre daha büyük bir hızla artmaktadır. Küresel ısınmayı azaltmada henüz kloroflorokarbonların ve fosil yakıtları kullanımının azaltılması dışında bir strateji geliştirilmemiştir. Diğer bazı çevresel durumlar gibi, küresel ısınma da daha tam olarak anlaşılamamıştır. Bu konuda araştırma, tartışma ve davranışlar bir arada ele alınmalı ve uzun süreli olmalıdır.

Kömür ve Diğer Enerji Kaynakları

Birleşik Devletlerdeki kömür rezervleri petrol ve doğal gazdan çok daha fazladır. Ancak, daha bol olmasına karşın, kömür kullanımı son yıllarda beklendiği kadar artmamıştır. Yukarıda anlatılan çevre sorunları yanında, kömürün derin maden ocaklarından çıkarılmasındaki tehlikeler de önemlidir. Açık ocak işletmeciliği daha az tehlikeli olmasına karşın, daha pahalıdır ve çevreye çok daha fazla zarar verir. Kömür kaynaklarından yararlanmada umut verici bir olasılık, yüzeyde ya da yeraltında kömürün gaz ve sıvı yakıtlara dönüştürülmesidir.

Kömürün Gazlaştırılması Birleşik Devletlerde, 1940 larda ucuz doğal gazın kullanılmaya başlanmasından önce, kömürden elde edilen hava gazı daha geniş çapta kullanılmaktaydı. Hava gazı, sıcak kömür üzerinden su buharı ve hava geçirilerek üretiliyordu. Böyle bir işlemde meydana gelen tepkimeler şunlardır:

$$C(\text{grafit}) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + H_2(g) \qquad \Delta H° = +131{,}3\ \text{kJ} \qquad (7.24)$$

$$CO(g) + H_2O(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2(g) \qquad \Delta H° = -41{,}2\ \text{kJ} \qquad (7.25)$$

$$2\,C(\text{grafit}) + O_2(g) \longrightarrow 2\,CO(g) \qquad \Delta H° = -221{,}0\ \text{kJ} \qquad (7.26)$$

$$C(\text{grafit}) + 2\,H_2(g) \longrightarrow CH_4(g) \qquad \Delta H° = -74{,}8\ \text{kJ} \qquad (7.27)$$

(7.24) gazlaştırma tepkimesi oldukça endotermiktir. Bu tepkime için gerekli ısı, kömürün kontrollü olarak, kısmen yakılmasıyla sağlanır (tepkime 7.26).

Tipik bir havagazı, hacimce yaklaşık % 23 CO, % 18 H_2, % 8 CO_2 ve % 1 CH_4 içerir. Üretimde hava kullanıldığı için, % 50 dolayında da N_2 vardır. N_2 ve CO_2 yanıcı olmadığı için, hava gazının verdiği ısı, doğal gazın verdiği ısının yalnızca % 10-15 i kadardır. Isı değerini arttırmak için kullanılan modern gazlaştırma işlemlerinin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

1. $N_2(g)$ gazından kurtulmak için hava yerine $O_2(g)$ kullanılır.
2. Yanıcı olmayan CO_2 ve kükürt safsızlıkları uzaklaştırılır.

$$CaO(k) + CO_2(g) \longrightarrow CaCO_3(k)$$
$$2\,H_2S(g) + SO_2(g) \longrightarrow 3\,S(k) + 2\,H_2O(g)$$

3. CO ve H_2, katalizör varlığında metan'a (CH_4) dönüştürülür (*metanasyon*).

$$CO(g) + 3\,H_2(g) \xrightarrow{\text{katalizör}} CH_4(g) + H_2O(k)$$

Isı değeri ve bileşim açısından doğal gaza benzeyen bu gaz karışımına *sübstitüye doğal gaz* (SDG) denir.

Kömürün Sıvılaştırılması Kömürden sıvı yakıt elde etmenin ilk basamağı, genellikle (7.24) tepkimesindeki gibi kömürün gazlaştırılmasıdır. Bu basamaktan sonra katalizör varlığında sıvı hidrokarbonlar elde edilir.

$$n\,CO + (2n+1)\,H_2 \longrightarrow C_nH_{2n+2} + n\,H_2O$$

Başka bir işlemle de sıvı metanol elde edilir.

$$CO(g) + 2\,H_2(g) \longrightarrow CH_3OH(s) \qquad (7.28)$$

1942 de Almanya'da kömürden 120 milyon litre gaz yakıt elde edilmiştir. Yaklaşık 50 yıldan beri Güney Afrika'da kömürün sıvılaştırılmasında kullanılan *Sasol* işlemi ile kömürden benzin, diğer petrol ürünleri ve kimyasal maddeler elde edilmektedir.

Metanol

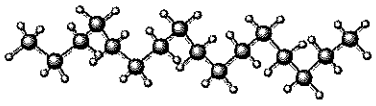
Metanol, CH_3OH, (7.28) tepkimesi ile kömürden elde edilebilir. Ayrıca, odunun termal bozunmasından, çiftlik gübresinden, lağım atığından ya da çöpten de metanol üretilebilir. Kütle bazında metanolun yanma ısısı, benzinin yanma ısısının ancak yarısı kadardır. Fakat metanolun oktan numarası (106), benzin hidrokarbonlarından izooktanın (100) ve ticari benzinin oktan numarasından (92) daha yüksektir. Bu nedenle, metanol içten yanmalı motorlarda denenmiş ve benzinden daha iyi yandığı görülmüştür. Metanol ayrıca binaların ısıtılmasında, elektrik enerjisi üretiminde, yakıt pillerinde ve organik sentezlerde de kullanılır.

Etanol

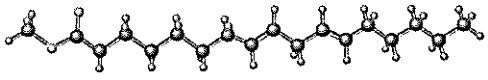
Etanol, C_2H_5OH, başlıca, bir petrol türevi olan etilenden, C_2H_4, elde edilir. Son zamanlarda, eskiden beri kullanılan organik maddelerin fermantasyonu yöntemi ile etanol eldesine ilgi artmıştır. Bu yöntemle organik maddeler etanole dönüştürülmektedir. Fermantasyon yöntemi en gelişmiş şekliyle Brezilya'da uygulanmakta, şeker kamışı ve tapyoka bitkilerinden etanol elde edilmektedir. Bazı ülkelerde % 90 benzin ve % 10 etanol karışımına *gazohol* adı verilmekte ve benzinin yerine kullanılmaktadır. Etanol aynı zamanda benzinin oktan numarasını arttırmaktadır.

Biyoyakıtlar

Biyoyakıtlar, fosil yakıtlara benzeyen, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Biyoyakıtlar genellikle ölü biyolojik materyallerden, çoğunlukla bitkilerden elde edilir. Fosil yakıtlar ise çok uzun süre önce ölmüş biyolojik materyallerden oluşurlar. Biyoyakıtların kullanımı yeni değildir. Birçok otomobil kâşifi araçlarını fındık yağı, haşhaş yağı ve etanol ile çalıştırmışlardır. Bitkisel yağın alkol-baz karışımı ile tepkimeye sokulmasıyla biyodizel diye adlandırılan bir bileşik elde edilir. Tipik petro-dizel bileşik, hidrokarbon setan ($C_{16}H_{34}$) dır. Oksijen içeren tipik bir biyodizel bileşik aşağıda gösterilmiştir. Petro-dizel ve biyodizelin standart yanma entalpileri çok yakındır.



Setan (sıvı)
$\Delta H^\circ_{ol} = -456{,}3 \text{ kJ mol}^{-1}$
$\Delta H^\circ_{yanma} = -10699{,}1 \text{ kJ mol}^{-1}$



Linoleik asit metil esteri (sıvı)
$\Delta H^\circ_{ol} = -604{,}88 \text{ kJ mol}^{-1}$
$\Delta H^\circ_{yanma} = -11690{,}1 \text{ kJ mol}^{-1}$

Biyoyakıtların, fosil yakıtların yerini alabileceği düşünülmekle birlikte, yaygınlaşmasının bir takım potansiyel dezavantajları vardır. Örneğin, gıda karşılığında yakıt konusu bir büyük endişeyi beraberinde getirmektedir. Yiyecek olarak kullanılan bitkiler (örneğin şeker kamışı) biyoyakıt kaynağıdır. Bu tarz kullanım yiyecek fiyatlarını yükseltir. Elbette biyoyakıt kullanmanın olumlu yönü de vardır, çünkü biyoyakıtlar karbon nötür yakıtlardır. Biyoyakıtın yanmasıyla CO_2 oluşur ve bu CO_2 bitki tarafından fotosentezde tekrar kullanılarak yeni bitki oluşur; sonuçta atmosferdeki karbon miktarı bu açıdan nötür olur yani artmaz. Biyoyakıtların daha başka birçok avantaj ve dezavantajları vardır, bunları öğrenmek için başka kaynaklara başvurulabilir.

Hidrojen

Büyük bir geleceği olan diğer bir yakıt da hidrojendir. Hidrojenin geleceği şu bakımdan parlaktır:

- Yanma ısısı (gram başına esas alınırsa) metanın iki katından fazla, benzinin yaklaşık üç katıdır.
- Yanma ürünleri benzininki gibi CO ve CO_2 değil, H_2O dur.

Son zamanlarda ticari olarak kullanılan hidrojenin büyük bir kısmı petrolden ve doğal gazdan elde edilmektedir. Fakat gelecekte hidrojenin yakıt olarak kullanılabilmesi için diğer kaynaklardan (özellikle sudan) elde edilebilmesinde verimli yöntemler geliştirilmelidir. (Hidrojen üretiminde diğer yöntemler ve üretim ekonomisindeki gelişmeler bundan sonraki bölümde incelenecektir.)

Diğer Alternatif Enerji Kaynakları

Yanma tepkimeleri maddelerden enerji elde etme yöntemlerinden sadece biridir. Örneğin, yanma ile aynı ürünleri veren tepkimeler, *yakıt pili* denen elektrokimyasal pillerde gerçekleştirilebilir. Burada açığa çıkan enerji ısı enerjisi değil, elektrik enerjisidir (bakınız Kesim 20-5). Güneş enerjisi de fotosenteze gerek kalmadan, doğrudan doğruya kullanılabilir. Ayrıca kimyasal tepkimeler yerine nükleer tepkimeler de enerji üretiminde kullanılabilir (Bölüm 25). Geliştirilen diğer alternatif enerji kaynakları da şunlardır: hidroelektrik enerjisi, jeotermal enerjisi, gelgit ve rüzgar enerjisi.

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Günlük aktivitelerinizi sürdürmek için enerjinizi nereden temin edersiniz, düşündünüz mü? Focus On feature for Chapter 7 (Fats, Carbohydrates, and Energy Storage) on the MasteringChemistry site.

Özet

7-1 Bazı Terimler —Termokimyanın konusu evrenin incelenmek üzere seçilen kısmı olan **sistem** ve sistemin etkileştiği ve sistem dışında kalan evrenin bir parçası olan **çevredir.** **Açık sistem** çevresiyle hem madde hem de enerji alışverişi yapar. **Kapalı sistem** sadece enerji alışverişi yapar, madde alışverişi yapmaz. **Yalıtılmış sistem** çevresi ile ne enerji ne de madde alışverişi yapabilir (Şekil 7-1). **Enerji** iş yapabilme kapasitesidir, **iş** ise bir kuvvet bir cisme bir uzaklık boyunca etkiyince yapılır. Enerji ayrıca Şekil 7-2 de tanımlandığı gibi maddenin hareketinden kaynaklanan **kinetik enerji** ve konumdan ya da bileşiminden kaynaklanan **potansiyel enerji** olarak tanımlanır. Rastgele molekül hareketleriyle ilişkili kinetik enerjiye bazen **termal enerji** denir.

7-2 Isı — **Isı,** sistem ve çevresi arasında sıcaklık farkından ileri gelen enerji alışverişidir. Bazen, hal değişimlerinde olduğu gibi sabit sıcaklıkta da ısı aktarılabilir. Isı miktarı, sistemin ısı kapasitesi ile sıcaklık farkının çarpımına eşittir (eşitlik 7.5). **Isı kapasitesi,** bir gram maddenin sıcaklığını bir santigrat derece yükseltmek için gerekli ısı miktarı olan **özgül ısısı**' nın, kütle ile çarpımına eşittir. Geçmişte ölçülen ısı birimi için **kalori (cal)** kullanılmıştır. Ancak, ısının SI birimi joule olup diğer enerji çeşitlerinde de aynı birim kullanılır (eşitlik 7.2). Sistem ve çevresi arasındaki enerji alışverişi **enerjinin korunumu ilkesine** uymalıdır. Bunun anlamı sistem tarafından kaybedilen ısının tamamı çevresi tarafından kazanılır (eşitlik 7.6).

7-3 Tepkime Isısı ve Kalorimetri— Bir kimyasal tepkimede, tepken ve ürünlerin **kimyasal enerji**lerindeki değişimi, ısı şeklinde görülür. **Tepkime ısısı;** tepkime sabit bir sıcaklıkta gerçekleştiğinde, sistem ve çevresi arasındaki enerji alışverişidir. **Ekzotermik tepkime**lerde sistem tarafından ısı salınır, **endotermik tepkime**lerde ise sistem ısı alır. Tepkime ısısı, ısı miktarını ölçen **kalorimetre** ile tayin edilir (eşitlik 7.10). Ekzotermik yanma tepkimeleri için, genellikle **kalorimetre bombası** kullanılır (Şekil 7-5). Genel kimya laboratuvarlarında yaygın olarak kullanılan kalorimetre, poliüretan köpükten yapılmış bir bardaktır (Şekil 7.6).

7-4 İş — Bazı tepkimelerde, sistem ve çevresi arasında, iş şeklinde enerji aktarımı olur. Genellikle gazların sıkışması ve genleşmesinde yapılan iş, (Şekil 7-8) **basınç-hacim işi** olarak adlandırılır (eşitlik 7.11)

7-5 Termodinamiğin Birinci Yasası — **İç enerji** (U); bir sistemdeki toplam enerjidir (kinetik ve potansiyel). **Termodinamiğin birinci yasası** sistemin iç enerji değişimini (ΔU), sistem ile çevre arasındaki ısı (q) ve iş (w) alışverişiyle ilişkilendirir. $\Delta U = q + w$ dur (eşitlik 7.12) ve bu eşitlikte bir işaretleme sisteminin izlenmesi gerekir. **Bir halin fonksiyonu (hal fonksiyonu);** sistemin bulunduğu hale bağlı olup, o hale nasıl gelindiğine bağlı değildir. İç enerji bir hal fonksiyonudur. Isı ve iş gibi yola bağlı fonksiyonlar ise, sistemdeki değişikliğin nasıl gerçekleştiğine bağlıdır. Sistemdeki değişiklik sayılamayacak kadar çok basamaklar halinde gerçekleştiriliyorsa, süreç **tersinir süreç**tir (Şekil 7.12). Eğer bir basamak veya belirli sayıda basamakta gerçekleştiriliyorsa süreç **tersinmez**dir.

7-6 Tepkime Isısı: ΔU ve ΔH — Bir kimyasal tepkimede iş, basınç-hacim işi ile sınırlı ise ve tepkime sabit hacimde gerçekleştiriliyorsa, tepkime ısısı iç enerji değişimine eşittir (eşitlik 7.13). Sabit basınç altında gerçekleşen bir tepkime için, daha faydalı bir fonksiyon olan **entalpi** (H) kullanılır. Entalpi, bir sistemin iç enerjisi (U) ile basınç-hacim çarpımının ($P \times V$) toplamına eşittir. Sabit basınçtaki bir tepkimenin **Entalpi değişimi** (ΔH) tepkime ısısına eşittir (eşitlik 7.4). Tepkime ısılarının çoğu ΔH değerleriyle verilir. İlgilenilen sıcaklıkta ve 1 bar (10^5 Pa) basınçtaki bir madde **standart hal**dedir. Bir tepkimede, tepkenler ve ürünler standart hallerinde iseler, entalpi değişimine **standart tepkime entalpisi** denir ve ΔH° ile gösterilir. Entalpi değişimleri **entalpi diyagramları** ile şematik olarak gösterilebilir (Şekil 7-15).

7-7 ΔH'ın Dolaylı Yoldan Belirlenmesi : Hess Yasası— Bilinmeyen bir ΔH değeri, dolaylı olarak **Hess Yasası** ile belirlenebilir. **Hess Yasasına** göre, net entalpi değişimi, bu süreci veren tek tek basamakların entalpi değişimlerinin toplamına eşittir (Şekil 7-17).

7-8 Standart Oluşum Entalpileri- Kendi standart hallerinde elementlerin en kararlı hallerinin entalpileri keyfi olarak sıfır kabul edildiğinde, bir bileşiğin elementlerinden oluşması sırasındaki entalpi değişimi **standart oluşum entalpisi** (ΔH°_{ol}) olarak adlandırılır. Listelenmiş standart oluşum entalpilerini (Çizelge 7.2) kullanarak, ek deneyler yapmadan, tepkimelerin standart tepkime entalpilerini bulmak mümkündür (eşitlik 7.21).

7-9 Enerji Kaynağı Olarak Yakıtlar — Termokimyanın başlıca uygulaması, enerji kaynağı olarak yakıtların yanmalarının incelenmesidir. Halen kullanılan başlıca yakıtlar, fosil yakıtlardır. Bu bölümde potansiyel alternatif yakıtlardan da bahsedildi ve kitap içerisinde ileride aha geniş olarak da bahsedilecektir. Fosil yakıt kullanımının getirdiği önemli problemlerinden biri de **küresel ısınma**dır.

Pekiştirici Örnek

Odun kömürü, H_2O varlığında sınırlı miktarda oksijen ile yakıldığında, CO, H_2 ve diğer yanıcı olmayan gazlar (çoğunlukla CO_2) elde edilir. Bu karışıma *su gazı* denilir ve organik bileşiklerin sentezlenmesinde veya yakıt olarak kullanılır. Tipik su gazı *hacimce* %55 CO(g), %33 H_2(g) ve %12 yanıcı olmayan gazları (çoğunlukla CO_2) içerir. 25 °C ve 102,6 kPa basınçta 0,205 m^3 su gazının yakılmasıyla 25 °C deki 25,0 kg su hangi sıcaklığa kadar ısıtılabilir?

Analiz

Önce, gazın toplam mol sayısını bulmak için ideal gaz eşitliğini kullanınız ve sonra eşitlik (6.17) yi kullanarak her bir yanıcı gazın mol sayısını bulunuz. Daha sonra her bir gazın yanma tepkimesi için eşitlikler yazarak ve oluşum entalpi verilerini kullanarak yanmada açığa çıkan toplam ısıyı hesaplayınız. Son olarak, bu miktar ısının 25,0 kg su tarafından soğurulmasıyla sıcaklıktaki artışı bulmak için eşitlik (7.5) i kullanınız. Suyun son sıcaklığı artık kolayca belirlenebilir.

Çözüm

Uygun verileri SI birimleri ile beraber ideal gaz eşitliğinde yerine koyunuz ve $R = 8{,}3145\ \text{Pa mol}^{-1}\ \text{K}^{-1}$ alarak n yi çözünüz.

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{102{,}6\ \text{kPa} \times 1000\ \text{Pa/1 kPa} \times 0{,}205\ \text{m}^3}{8{,}3145\ \text{m}^3\ \text{Pa mol}^{-1}\ \text{K}^{-1} \times 298{,}2\ \text{K}} = 8{,}48\ \text{mol gaz}$$

Şimdi, hacim yüzdelerini mol kesirlerine çevirerek ve eşitlik (6.17) yi kullanarak 8,48 molü bu üç gaz arasında paylaştırınız.

$$n_{CO} = n_t \times x_{CO} = 8{,}48\ \text{mol} \times 0{,}550 = 4{,}66\ \text{mol CO}$$
$$n_{H_2} = n_t \times x_{H_2} = 8{,}48\ \text{mol} \times 0{,}330 = 2{,}80\ \text{mol } H_2$$

(su gazındaki diğer gazlar yanmayan gazlardır)

CO(g) yanma eşitliğini yazınız ve ΔH°_{ol} değerlerini eşitliğin altında gösteriniz. Bir mol CO(g) için $\Delta H^0_{\text{yanma}}$ değerini bulunuz.

$$\text{CO(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{CO}_2\text{(g)}$$

ΔH°_{ol}: −110,5 kJ/mol −393,5 kJ/mol

$$\Delta H^\circ_{\text{yanma}} = 1\ \text{mol CO}_2 \times (-393{,}5\ \text{kJ/mol CO}_2) - 1\ \text{mol CO} \times (-110{,}5\ \text{kJ/mol CO}) = -283{,}0\ \text{kJ}$$

H_2 (g)'ın yanması için başka bir eşitlik yazınız. Yine altına ΔH°_{ol} verilerini yazarak, $\Delta H^\circ_{\text{yanma}}$ değerini bir mol H_2 (g) için bulunuz.

$$\text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O(s)}$$

ΔH°_{ol}: 0 kJ/mol −285,8 kJ/mol

$$\Delta H^\circ_{\text{yanma}} = 1\ \text{mol H}_2\text{O} \times (-285{,}8\ \text{kJ/mol H}_2\text{O}) = -285{,}8\ \text{kJ}$$

0,205 m^3 gazda CO ve H_2'nin yanması ile açığa çıkan toplam ısı miktarını bulunuz.

$$4{,}66\ \text{mol CO} \times (-283{,}0\ \text{kJ/mol CO}) + 2{,}80\ \text{mol H}_2 \times (-285{,}8\ \text{kJ/mol H}_2) = -2{,}12 \times 10^3\ \text{kJ}$$

25,0 kg su tarafından soğurulan ısı

$$q_{su} = -q_{\text{yanma}} = -\left(-2{,}12 \times 10^3\ \text{kJ} \times \frac{1000\ \text{J}}{1\ \text{kJ}}\right) = 2{,}12 \times 10^6\ \text{J}$$

$2{,}5 \times 10^4$ g (25,0 kg) suyun sıcaklığındaki değişimi bulmak için eşitlik (7.5)'i yeniden düzenleyiniz.

$$\Delta T = \frac{q_{su}}{\text{suyun kütlesi} \times \text{suyun özgül ısısı}}$$

$$\Delta T = \frac{2{,}12 \times 10^6\ \text{J}}{\left(2{,}50 \times 10^4\ \text{g H}_2\text{O} \times \dfrac{4{,}18\ \text{J}}{\text{g H}_2\text{O°C}}\right)} = 20{,}3\ °\text{C}$$

İlk sıcaklık ve sıcaklık değişiminden son sıcaklığı bulunuz.

$$T_s = T_i + \Delta T = 25{,}0\ °\text{C} + 20{,}3\ °\text{C} = 45{,}3\ °\text{C}$$

Değerlendirme

Gazın sıcaklığı (25 °C) çok düşük ve gaz basıncı da (yaklaşık 1 atm) yüksek olmadığı için, gazın ideal gaz yasasına uyduğunu kabul etmek geçerli olacaktır. Ancak hesaplanan yanma ısısının tamamının suya aktarıldığı kabulü muhtemelen geçerli değildir. Eğer suya ısı aktarımı sıradan bir gaz ocağı ile yapıldıysa, ısının bir kısmı kaybolacaktır. Bu nedenle bulduğumuz sıcaklık, ulaşılabilecek en yüksek sıcaklıktır. Verilerde birimleri dikkate aldığınızda ideal gaz eşitliğini kullanırken en basit yaklaşımın, SI birimleriyle çalışmak olduğuna dikkat ediniz.

ALIŞTIRMA A: 1–heksadeken'in ($C_{16}H_{32}$) yanma entalpisi –10539,0 kJ mol^{-1} ve heksadekanın ($C_{16}H_{34}$) yanma entalpisi –10699,1 $kJmol^{-1}$ dir. 1–heksadekenin, 1–heksadekana hidrojenlenme entalpisi nedir?

ALIŞTIRMA B: Bir kimyacı 56 gram CaO i (toz halinde sönmemiş kireç), 20 °C de 100 mL su ile karıştırıyor. $CaO_{(k)} + H_2O_{(s)} \rightarrow Ca(OH)_{2(k)}$ tepkimesi tamamlandıktan sonra tepkime kabının içeriği ne olur? [*İpucu*: Açığa çıkan ısının su tarafından soğurulduğunu kabul ediniz.]

MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, çalışma alanındaki ilave kişisel çalışma sorularına bu bağlantı ile ulaşabilirsiniz

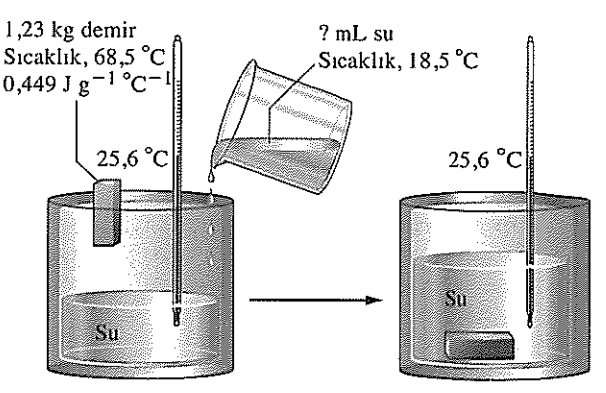
Alıştırmalar

Isı Kapasitesi (ve Özgül Isı)

1. **(a)** 9,25 L suyun sıcaklığını 22,0°C den 29,4°C a çıkarmak için gerekli ısı miktarını *kilojoule* olarak hesaplayınız **(b)** 5,85 kg alüminyum çubuğun (alüminyumun özgül ısısı = 0,903 J g^{-1} $°C^{-1}$), 33,5 °C sıcaklık düşmesine neden olan ısı miktarını *kilojoule* olarak hesaplayınız.
2. Aşağıdaki durumlarda son sıcaklığı hesaplayınız.

   (a) 22,9 °C de 12,6 g lık bir su örneği 875 J ısı soğurduğunda,

   (b) 78,2 °C de 1,59 kg lık bir platin örneği 1,05 kcal ısı verdiğinde (Pt in özgül ısısı = 0,032 cal J^{-1} $°C^{-1}$).
3. Örnek 7-2 de sözü edilen deney, kurşun yerine başka metaller kullanılarak yineleniyor. Suyun kütlesi ve başlangıç sıcaklığı Şekil 7-3 deki ile aynıdır. Son sıcaklıklar **(a)** Zn, 38,9 °C; **(b)** Pt, 28,8 °C; **(c)** Al, 52,7 °C olduğuna göre, her metalin özgül ısısını J g^{-1} $°C^{-1}$ biriminde bulunuz.
4. 75,0 g lık bir Ag parçası 80,0 °C ye kadar ısıtılıyor ve 23,2 °C daki 50,0 g su içine atılıyor. Ag–H_2O karışımının sıcaklığı 27,6 °C olduğuna göre gümüşün özgül ısısı nedir?
5. 465 g lık bir demir külçesi fırından alınıyor ve yalıtılmış bir kaptaki 375 g suya daldırılıyor. Sıcaklık 26 °C dan 87 °C ye yükseliyor. Demirin özgül ısısı 0,449 J g^{-1} $°C^{-1}$ olduğuna göre, demirin ilk sıcaklığı nedir?
6. Bir paslanmaz çelik parçası (özgül ısısı = 0,50 J g^{-1} $°C^{-1}$) 183 °C deki bir fırından alınıyor ve 23,2 °C de 125 mL suya daldırılıyor. Suyun sıcaklığı 51,5 °C ye yükseliyor. Çelik parçasının kütlesi nedir? Bu yöntem kütle tayini için ne kadar duyarlıdır? Açıklayınız.
7. 40,0 °C de 1,00 kg magnezyum örneği yalıtılmış bir kapta bulunan 20,0 °C deki 1,00 L suya konuyor. Mg - H_2O karışımının son sıcaklığı ne olur? (Mg un özgül ısısı = 1,024 J g^{-1} $°C^{-1}$).
8. Pirincin yoğunluğu 8,40 g/cm^3 ve özgül ısısı 0,385 J g^{-1} $°C^{-1}$ dir. İlk sıcaklığı 163 °C olan 15,2 cm^3 pirinç parçası yalıtılmış bir kapta sıcaklığı 22,4 °C olan 150,0 g suya daldırılıyor. Pirinç-su karışımının son sıcaklığı ne olur?
9. 143,2 °C de 74,8 g bakır, yalıtılmış bir kapta bulunan 24,8 °C de 165 mL gliserin ($C_3H_8O_3$) (d=1,26 g/mL) içine daldırılıyor. Son sıcaklık 31,1 °C ölçülüyor. Bakırın özgül ısısı 0,385 J g^{-1} $°C^{-1}$ olduğuna göre, gliserinin ısı kapasitesi J mol^{-1} $°C^{-1}$ biriminde nedir?
10. Yalıtılmış bir kaba 18,5 °C deki sudan ne kadar (mL) su eklenmeli ki, 68,5°C deki 1,23 g demir parçası daldırıldığında kaptaki suyun sıcaklığı 25,6 °C de sabit kalsın?



11. 20,0 °C de 6,052 J enerji ısı şeklinde 1,0 L hava örneğine (d = 1,204 mg/cm^3) aktarılıyor. Havanın son sıcaklığı 25,0 °C dır. Havanın ısı kapasitesini J/K olarak bulunuz.

Tepkime Isıları

13. 283 kg sönmüş kireç, $Ca(OH)_2$, elde edilirken kaç kJ ısı açığa çıkar?

$$CaO(k) + H_2O(s) \longrightarrow Ca(OH)_2(k) \qquad \Delta H° = -65{,}2 \text{ kJ}$$

14. Bir hidrokarbon olan oktanın yanmasında standart entalpi değişimi $\Delta H° = -5{,}48 \times 10^3$ kJ/mol $C_8H_{18}(s)$ dır. Oktanın yanmasıyla *galon başına* kaç kJ ısı açığa çıkar? (Oktanın yoğunluğu = 0,703 g/mL, 1 gal = 3,785 L.)

15. Aşağıdaki tam yanma olaylarında açığa çıkan ısıyı kJ olarak bulunuz. **(a)** 25,0 °C ve 1 atm de 1,325 g $C_4H_{10}(g)$ **(b)** standart koşullarda 28,4 L $C_4H_{10}(g)$ **(c)** 23,6 °C ve 738 mmHg da 12,6 L $C_4H_{10}(g)$

Tepkimenin entalpi değişiminin sıcaklık ve basınç ile önemli derecede değişmediğini kabul ediniz. Bütanın, $C_4H_{10}(g)$ tam yanma tepkimesi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$C_4H_{10}(g) + \frac{13}{2}O_2(g) \longrightarrow 4\,CO_2(g) + 5\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -2877 \text{ kJ}$$

16. Aşağıda verilen maddelerin tam yanmasıyla yanlarında yazan miktarlarda ısı açığa çıkmaktadır. Her maddenin 1,00 molü için entalpi değişimleriyle beraber, ΔH, denkleştirilmiş yanma tepkimeleri eşitliklerini yazınız.

(a) 0,584 g propan, $C_3H_8(g)$, 29,4 kJ

(b) 0,136 g kafur $C_{10}H_{16}(k)$, 5,27 kj

(c) 2,35 mL aseton $(CH_3)_2CO(g)$, (d= 0,791g/mL), 58,3 kj

17. Doğal gazın başlıca bileşeni olan metan aşağıdaki gibi yanar.

$$CH_4(g) + 2\,O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -890{,}3 \text{ kJ}$$

(a) $2{,}80 \times 10^7$ kJ ısı elde etmek için kaç kg metan yakılmalıdır?

(b) 18,6 °C ve 768 mmHg basınçta $1{,}63 \times 10^3$ L metanın tam yanmasından kaç kJ ısı açığa çıkar?

(c) (b) deki ısı miktarı, % 100 verimle, su ısıtmada kullanılırsa, kaç litre suyun sıcaklığı 8,8 °C dan 60,0 °C a çıkabilir?

18. Pekiştirici Örneği göz önüne alınız. 40,0 gal suyun sıcaklığını 15,2°C dan 65,0°C a yükseltmek için STP de ne kadar su gazı yakılmalıdır? (1 gal = 3,785 L.)

19. Metal işlemede, bazı kaynakların yapılabilmesi için gerekli olan yüksek sıcaklık (yaklaşık 2500 °C), hidrojen-oksijen karışımının yakılmasıyla sağlanır.

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) \qquad \Delta H° = -241{,}8 \text{ kJ}$$

Kütlece eşit miktarlarda H_2 ve O_2 içeren 180 g karışım yakıldığında kaç kJ ısı açığa çıkar?

12. İlk sıcaklığı 20,0 °C olan 1,24 g suya 6,052 J enerji verildiğinde son sıcaklık (°C olarak) ne olur?

20. Metal işlemede, bazı kaynakların yapılmasında termit karışımı kullanılır. Termit tepkimesi oldukça ekzotermiktir.

$$Fe_2O_3(k) + 2\,Al(k) \longrightarrow Al_2O_3(k) + 2\,Fe(k) \qquad \Delta H = -852 \text{ kJ}$$

1,00 mol Fe_2O_3 ve 2,00 mol Al parçacıkları oda sıcaklığında (25 °C) karıştırılıyor ve tepkime başlatılıyor. Açığa çıkan ısı, geniş bir sıcaklık aralığında özgül ısısı 0,8 J g^{-1} °C^{-1} olan yukarıdaki tepkime ürünlerinde alıkonuluyor. Bu ısının yukarıdaki tepkime ürünlerinin sıcaklığını demirin erime noktasına kadar getirmeye yeterli olduğunu gösteriniz. (Demirin erime noktası 1530 °C'dır).

21. 0,205 g potasyum hidroksit, KOH, tabletleri "kahve fincanı" kalorimetresinde bulunan 55,9 g suya konuluyor. Suyun sıcaklığı 23,5 °C dan 24,4 °C ye yükseliyor. [Sulu seyreltik KOH(suda) çözeltisinin özgül ısısını su ile eşit kabul ediniz.]

(a) KOH in yaklaşık çözünme ısısını, kJ/mol KOH biriminde hesaplayınız?

(b) Bu ölçümün duyarlılığını, düzeneği *iyileştirmeden* artırabilir misiniz?

22. KI(k) ün çözünme ısısı suda +20,3 kJ/mol KI dür. Bir "kahve fincanı" kalorimetresinde, 150,0 mL 2,50 M KI çözeltisi hazırlamak için, bir miktar KI katısı 23,5 °C de yeterli miktardaki suya ekleniyor. Son sıcaklık ne olur? (2,50 M KI çözeltisinin yoğunluğunu 1,30 g/mL ve özgül ısısını 2,7 J g^{-1} °C^{-1} alınız).

23. *Endotermik* bir olayı göstermek için bir deney tasarlıyorsunuz. Bunun için, yalıtılmış bir kapta bulunan 1400 mL suyun sıcaklığını 25 °C dan 10 °C ye düşürmek istiyorsunuz. Bu sonucu elde etmek için kütlece ne kadar $NH_4Cl(k)$ katısını suda çözmelisiniz? NH_4Cl ün çözünme ısısı +14,7 kJ/mol NH_4Cl dür.

24. Çözünürken ısı açığa çıkaran çözünenleri çözerken dikkatli davranılmalıdır. NaOH in çözünme ısısı –44,5 kJ/mol NaOH tir. 500 mL 7,0 M NaOH çözeltisi hazırlanırken, sıcaklığı 21 °C olan suyun sıcaklığı en fazla hangi sıcaklığa kadar yükselebilir? Çözeltinin yoğunluğunu 1,08 g/mL ve özgül ısısını 4,00 J g^{-1} °C^{-1} kabul ediniz.

25. Örnek 7-4 ü göz önüne alınız. Nötürleşme ürünü 0,500 M NaCl dür. Bu çözeltinin yoğunluğunu 1,02 g/mL ve özgül ısısını 4,02 J g^{-1} °C^{-1} kabul ediniz. Kalorimetrenin ısı kapasitesini 10 J/ °C kabul ederek, nötürleşme ısısını tekrar hesaplayınız?

26. HCl(suda) in NaOH(suda) ile nötürleşme ısısı –55,84 kJ/mol H_2O dur. Her ikisi de 24,72 °C sıcaklığında olan 50,00 mL 1,05 M NaOH ile 25,00 mL 1,86 M HCl çözeltileri karıştırılırsa, çözeltinin son sıcaklığı ne olur? [Bu nötürleşme tepkimesinde oluşan çözeltinin yoğunluğunu 1,02 g/mL, özgül ısısını 3,98 J g^{-1} °C^{-1} alınız ve çevreye (hava) ısı kaybının olmadığını varsayınız.]

27. Kaynak yapılırken asetilen (C_2H_2) kaynağı kullanılır. 5,0 L C_2H_2 (d= 1,0967 kg/m^3) stokiyometrik miktarda oksijen gazı ile karıştırıldığında kJ olarak ne kadar ısı açığa çıkar? Yanma tepkimesi aşağıda verilmiştir.

$$C_2H_2(g) + \frac{5}{2}O_2(g) \longrightarrow 2\,CO_2(g) + H_2O(s) \qquad \Delta H^\circ = -1299{,}5\ kJ$$

28. Gazlı ızgaralarda propan (C_3H_8) gazı (d = 1,83 kg/m^3) kullanılır. 273,8 kJ ısı üretmek için kaç L propan gazı gereklidir?

$$C_3H_8(g) + 5\,O_2(g) \longrightarrow 3\,CO_2(g) + 4\,H_2O(s) \qquad \Delta H^\circ = -2219{,}9\ kJ$$

Maddenin Halleri ve Entalpi Değişimleri

29. 3,50 mol suyun, $H_2O(s)$, sıcaklığını 50,0°C yükseltmek için gerekli olan ısı miktarı, kaç gram buz kütlesini eritebilir? [ΔH°_{erime}= 6,01 kJ/mol $H_2O(k)$].

30. Yalıtılmış bir kapta 25,0 °C de bulunan 100,0 g suyun içinden 100 °C de 5,00 g buhar [$H_2O(g)$] geçirildiğinde suyun son sıcaklığı ne olur? [ΔH°_{buh}= 40,6 kJ/mol H_2O]

31. 525 °C de 125 g paslanmaz çelikten yapılmış bir rulman [özgül ısı = 0,50 Jg^{-1} °C^{-1}], poliüretan köpükten yapılmış açık bir bardak içinde bulunan 28,5 °C deki 75,00 mL suyun içine atıldığında, suyun sıcaklığı 100,0 °C ye ulaşıyor ve su kaynamaya başlıyor. Kaynama sürerken buharlaşan suyun kütlesi nedir? [ΔH°_{buh}= 40,6 kJ/mol H_2O]

32. Alıştırma 31 de anlatılan paslanmaz çelikten yapılmış rulman, 0 °C de büyük bir buz kalıbı üzerine düşürülse, oluşan sıvı suyun kütlesi ne olur? [ΔH°_{erime}= 6,01 kJ/mol $H_2O(k)$]

33. 78,5 °C de kuru buz [yani $CO_2(k)$] için süblimleşme entalpisi, (katı → gaz) $\Delta H^\circ_{süb}$= 571 kJ/kg dır. Bu sıcaklıktaki bir kuru buz kalıbına 125,0 J ısı aktarılıyor. Oluşan CO_2 gazının (d =1,98 g/L) hacmi nedir?

34. Sıvı azotun,$N_2(s)$, buharlaşma entalpisi 5,56 kJ/mol dür. 77,36 K ve 1 atm de 1,0 L $N_2(g)$ üretmek için ne kadar ısı (J) gerekir?

Kalorimetri

35. Bir numune kalorimetre bombasında yakıldığında 5228 cal ısı açığa çıkmakta ve kalorimetrenin sıcaklığı 4,39 °C yükselmektedir. Kalorimetrenin ısı kapasitesini (kJ/°C) hesaplayınız.

36. Aşağıdaki maddeler kalorimetre bombasında yakılmaktadır. Suyun ilk sıcaklığı 22,43°C ve kalorimetrenin ısı kapasitesi 5,136 kJ/°C olduğuna göre her bir madde için son sıcaklık ne olur?

    (a) 0,3268 g kafein, $C_8H_{10}O_2N_4$ (yanma ısısı = −1014,2 kcal/mol kafein)

    (b) 1,35 mL metil etil keton $C_4H_8O(s)$ (d = 0,8059 g/mL, yanma ısısı = −2444 kJ/mol metil etil keton)

37. Bir kalorimetre bombasında yanabilen bir madde olan ksiloz, $C_5H_{10}O_5(k)$ ile bir deney gerçekleştiriliyor. Aşağıdaki verilere göre

    yakılan ksiloz kütlesi: 1,183 g

    kalorimetrenin ısı kapasitesi: 4,728 kJ/°C

    kalorimetrenin ilk sıcaklığı: 23,29°C.

    Kalorimetrenin son sıcaklığı: 27,19 °C

    (a) Ksilozun yanma ısısını kJ/mol olarak bulunuz.

    (b) Ksilozun tam yanma tepkimesi eşitliğini yazınız ve bu tepkimenin ΔH ını bulunuz (Bu tepkime için $\Delta U = \Delta H$ alabilirsiniz.)

38. Bir "kahve fincanı" kalorimetresinde 20,23 °C de 100,0 mL, 0,300 M HCl bulunuyor. 1,82 g Zn(k) eklendiğinde sıcaklığın 30,5 °C a yükseldiği gözleniyor. Zn nun bir molü başına tepkime ısısını bulunuz. Örnek 7-4 deki aynı kabulleri yapınız ve açığa çıkan $H_2(g)$ ile ısı kaybı olmadığını kabul ediniz.

$$Zn(k) + 2\,H^+(suda) \longrightarrow Zn^{2+}(suda) + H_2(g)$$

39. 0,75 g KCl, poliüretan köpük bardak içindeki 35,0 g H_2O ya konuluyor ve çözününceye kadar karıştırılıyor. Çözeltinin sıcaklığının 24,8 °C dan 23,6 °C a düştüğü gözleniyor.

    (a) Bu olay endotermik mi, yoksa ekzotermik midir?

    (b) KCl ün çözünme ısısı kJ/mol KCl cinsinden nedir?

40. Potasyum asetatın suda çözünme ısısı −15,3 kJ/mol $KC_2H_3O_2$ dir. İlk sıcaklığı 25,1 °C olan 525 mL su içinde 0,136 mol $KC_3H_3O_2$ çözülürse, çözeltinin son sıcaklığı ne olur?

41. 1,620 g lık bir naftalin, $C_{10}H_8(k)$ örneği bir kalorimetre bombasında tamamen yakılıyor ve 8,44 °C lık bir sıcaklık yükselmesi kaydediliyor. Naftalinin yanma ısısı −5156 kJ/mol $C_{10}H_8$ olduğuna göre kalorimetrenin ısı kapasitesi nedir?

42. Salisilik asit [$C_7H_6O_3$] kalorimetrik standart olarak önerilir. Yanma ısısı $-3{,}023\times10^3$ kJ/mol $C_7H_6O_3$ dir. Aşağıda verilen verilerden kalorimetre bombasının ısı kapasitesini (yani; bomba, su, karıştırıcı, termometre, kablolar vb. dahil) bulunuz.

yanan salisilik asit kütlesi:	1,201 g
kalorimetrenin ilk sıcaklığı:	23,68 °C
kalorimetrenin son sıcaklığı:	29,82 °C

43. Örnek 7-3 ü göz önüne alarak, ısı kapasitesi 3,87 kJ/°C olan bir kalorimetre bombası düzeneğinde 1,227 g $C_{12}H_{22}O_{11}$ yakıldığında, sakkarozun yanma ısısına göre, meydana gelecek sıcaklık değişimini bulunuz (ΔT).

44. 1,397 g lık bir timol numunesi, $C_{10}H_{14}O(k)$, bir kalorimetre bombası düzeneğinde yakılıyor ve sıcaklık 11,23 °C yükseliyor. Kalorimetrenin ısı

kapasitesi 4,68 kJ/°C olduğuna göre, timolun, $C_{10}H_{14}O$, yanma ısısı kJ/mol cinsinden nedir?

45. 5,0 g lık bir NaCl örneği poliüretan köpük fincandaki suya eklendiğinde suyun sıcaklığında 5,0 °C lik bir değişim oluyor. NaCl ün çözünme ısısı 3,76 kJ/mol olduğuna göre, kalorimetredeki suyun gram olarak kütlesi nedir?

Hacim–Basınç İşi

47. Bir gaz, 748 mm Hg basıncına karşı 3,5 L (ΔV) genleştiğinde, yapılan iş miktarını **(a)** litre-atmosfer (L-atm); **(b)** joule (J); **(c)** kalori (cal) cinsinden hesaplayınız.

48. Bir gazın 1,23 atm sabit basınçta, 5,62 L den 3,37 L ye sıkıştırılmasındaki iş miktarını joule cinsinden hesaplayınız.

49. 27 °C ve 1 atm deki 1,00 g lık bir Ne(g) örneği 2,50 L hacmindeki *havası boşaltılmış* bir kap içine gönderilerek genleştiriliyor. Gaz iş yapar mı? Açıklayınız.

50. Aerosol kutularındaki sıkıştırılmış hava, elektronik cihazlardaki tozu uzaklaştırmak için kullanılır. Hava kutudan çıkarken herhangi bir iş yapar mı?

51. Aşağıdaki işlemler havaya açık bir kapta, sabit basınçta gerçekleştirilirse iş yapılır mı? Eğer iş yapılıyorsa sisteme mi yapılır, sistem mi dışarıya yapar?

Termodinamiğin Birinci Yasası

55. Sistem; **(a)** 58 J ısı soğurur, 58 J iş yaparsa; **(b)** 125 J ısı soğurur, 687 J iş yaparsa; **(c)** 280 cal ısı açığa çıkarır, sisteme 1,25 kJ iş yapılırsa sistemin iç enerjisindeki değişimi ne olur?

56. *Çevre;* **(a)** 235 ısı verir ve sisteme 128 J iş yaparsa; **(b)** sisteme 98 J iş yaparken sistemden 145 J ısı soğurursa; **(c)** sistemden 1,07 kJ iş alır ama hiç ısı alışverişi yapmazsa, sistemin iç enerjisindeki değişim ne olur?

57. Belirli bir miktardaki ideal bir gazın iç enerjisi sadece sıcaklığına bağlıdır. Bir ideal gaz örneği sabit sıcaklıkta genleştirilirse (izotermal genleşme); **(a)** gaz iş yapar mı? **(b)** gaz çevre ile ısı alışverişinde bulunur mu? **(c)** gazın sıcaklığına ne olur? **(d)** gazın ΔU değeri ne olur?

58. *Adyabatik* bir işlemde sistem ısıl olarak yalıtılmıştır (sistem ve çevresi arasında ısı alışverişi yoktur). İdeal bir gazın adyabatik olarak genleşmesinde, **(a)** gaz iş yapar mı? **(b)** gazın iç enerjisi artar mı, azalır mı, yoksa sabit mi kalır? **(c)** gazın sı-

ΔH ve ΔU Arasındaki İlişki

63. *Tepkimenin nasıl gerçekleştiğine bakılmaksızın* aşağıdaki ifadelerin sadece birisi bir tepkime ısısı için geçerlidir. Hangi ifade doğrudur, niçin? **(a)** q_V; **(b)** q_p; **(c)** $\Delta U - w$; **(d)** ΔU; **(e)** ΔH.

64. Aşağıdaki tepkimeler için ΔH ın ΔU ya eşit mi, büyük mü, yoksa küçük mü olduğunu belirleyiniz. "Daha büyük" demenin daha pozitif veya daha az negatif demek olduğunu, "daha küçük" demenin az pozitif ya da daha negatif demek olduğunu, aklınızdan çıkarmayınız. Sabit basınçtaki tepkime için, gazların miktarları ile hacimlerin önemli bir değişim göstermediğini kabul ediniz.

46. Kalorimetri yöntemi ile katı maddelerin saflığını belirleyebiliriz. 10,5 g lık bir altın yüzük (saf altının özgül ısısı = 0,1291 $Jg^{-1}\ K^{-1}$) 78,3°C dereceye kadar ısıtılıyor, sabit basınçlı kalorimetrede bulunan 23,7 °C deki 50,0 g suya daldırılıyor, ve son sıcaklık 31,0 °C olarak ölçülüyor. Yüzük saf bir altın örneği midir?

(a) $Ba(OH)_2$(suda) nın HCl(suda) ile nötürleşmesi. **(b)** gaz halindeki azot dioksitin diazot tetroksite dönüşmesi. **(c)** kalsiyum karbonatın, kalsiyum oksit ve karbon dioksite bozunması.

52. Aşağıda verilen işlemler havaya açık bir kapta sabit basınçta gerçekleştirildiğinde iş yapılır mı? İş yapılırsa, sisteme mi yapılır yoksa sistem dışarıya mı yapar? **(a)** azot monoksit ve oksijen gazlarının, azot dioksit gazını oluşturma tepkimesi, **(b)** NaOH ve $MgCl_2$ sulu çözeltilerinden magnezyum hidroksitin çökelme tepkimesi, **(c)** bakır(II) sülfat ve su buharının, bakır(II) sülfat pentahidrat verme tepkimesi.

53. 298 K ve 1,0 atm de bir sistem tarafından 325 J değerinde iş yapılırsa sistemin hacmindeki değişim ne olur?

54. 5,0 L N_2 gazı içeren bir silindirdeki hareketli piston yardımıyla 1,23 kg lik bir cisim 4,5 metre yüksekliğe kaldırılıyor. Gaz tarafından ne kadar iş (J) yapılır?

caklığına ne olur? [*İpucu*: Alıştırma 57 yi göz önüne alınız.]

59. Aşağıdaki gözlemin mümkün olduğunu düşünür müsünüz? Bir ideal gaz izotermal olarak genleştiriliyor ve çevresinden aldığı ısının iki katı iş yapıyor. Yanıtınızı açıklayınız. [*İpucu*: Alıştırma 57 ve 58 i göz önüne alınız]

60. Aşağıdaki gözlemin mümkün olduğunu düşünür müsünüz? Bir gaz sıkıştırılırken çevresinden ısı soğuruyor. Yanıtınızı açıklayınız. [*İpucu*: Alıştırma 55 ve 56 yı göz önüne alınız]

61. P–V işinden başka iş şekilleri de vardır. Örneğin elektrik işi, potansiyel (V) × yükteki değişim(dq); $w = \phi\, dq$ dır. 100 V gerilimde, bir sistemdeki yük 10 C den 5 C a düşer ve 45 J ısı açığa çıkarsa, iç enerji ne kadar değişir? (Not: 1 V = 1 J/C)

62. Diğer bir iş şekli de uzamadır. Uzama, gerilme × uzunluktaki değişim; $w = f\,\Delta l$ dir. Bir DNA parçasının yaklaşık gerilmesi, $f = 10$ pN dur. DNA nın 10 pm lik adiyabatik geriliminde, iç enerji değişimi nedir?

(a) Bir mol sıvı 1-bütanolün tam yanması
(b) Bir mol glukozun, $C_6H_{12}O_6(k)$, tam yanması
(c) Katı amonyum nitratın, sıvı su ve diazot monoksit gazı vermek üzere bozunması.

Hess Yasası

67. $NH_3(g)$ nın standart oluşum entalpisi –46,11 kJ/mol NH_3 dır. Aşağıdaki tepkimenin $\Delta H°$ değeri nedir?

$$\frac{2}{3}NH_3(g) \longrightarrow \frac{1}{3}N_2(g) + H_2(g) \qquad \Delta H° =$$

68. Hess yasasından yararlanarak ve,

$$C(\text{grafit}) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g) \qquad \Delta H° = -110{,}54\ \text{kJ}$$

$$C(\text{grafit}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H° = -393{,}51\ \text{kJ}$$

tepkimelerini kullanarak, aşağıdaki tepkimenin $\Delta H°$ değerini bulunuz:

$$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H° =$$

69. Hess yasasını kullanarak

$C_3H_4(g) + 2\,H_2(g) \longrightarrow C_3H_8(g)$

tepkimesinin $\Delta H°$ değerini aşağıdaki verilerden bulunuz.

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(s) \quad \Delta H° = -285{,}8\ \text{kJ}$$

$$C_3H_4(g) + 4\,O_2(g) \longrightarrow 3\,CO_2(g) + 2\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -1937\ \text{kJ}$$

$$C_3H_8(g) + 5\,O_2(g) \longrightarrow 3\,CO_2(g) + 4\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -2219{,}1\ \text{kJ}$$

70.

$$\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2}H_2(g) \longrightarrow NH_3(g) \qquad \Delta H°_1$$

$$NH_3(g) + \frac{5}{4}O_2(g) \longrightarrow NO(g) + \frac{3}{2}H_2O(s) \qquad \Delta H°_2$$

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H°_3$$

veriliyor.

$$N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,NO(g) \qquad \Delta H° = ?$$

tepkimesinin $\Delta H°$ değerini $\Delta H°_1$, $\Delta H°_2$ ve $\Delta H°_3$ cinsinden ifade ediniz.

71. Aşağıda verilen eşitliklerden yararlanarak

$C_2H_4(g) + Cl_2(g) \longrightarrow C_2H_4Cl_2(s)$, tepkimesinin $\Delta H°$ değerini bulunuz.

$$4\,HCl(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,Cl_2(g) + 2\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -202{,}4\ \text{kJ}$$

$$2\,HCl(g) + C_2H_4(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow C_2H_4Cl_2(s) + H_2O(s) \quad \Delta H° = -318{,}7\ \text{kJ}$$

72. $N_2H_4(s) + 2\,H_2O_2(s) \longrightarrow N_2(g) + 4\,H_2O(s)$

tepkimesinin $\Delta H°$ değerini aşağıdaki verilerden yararlanarak bulunuz.

$$N_2H_4(s) + 2\,H_2O_2(s) \longrightarrow N_2(g) + 4\,H_2O(s)$$

$$N_2H_4(s) + O_2(g) \longrightarrow N_2(g) + 2\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -622{,}2\ \text{kJ}$$

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H° = -285{,}8\ \text{kJ}$$

$$H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O_2(s) \qquad \Delta H° = -187{,}8\ \text{kJ}$$

65. 2–Popanolün, kalorimetre bombasında 298,15 K de yanma ısısı –33,41 kJ/g dır. Bir mol 2–propanolün yanmasında (a) ΔU (b) ΔH değerini bulunuz.

66. Alıştırma 44 ü dikkate alarak, timolün yanmasını gösteren bir eşitlik yazınız. Bu eşitlikte ΔU ve ΔH değerlerini gösteriniz.

73. Sübstitüye doğal gaz (SNG), $CH_4(g)$ içeren bir gaz karışımıdır ve yakıt olarak kullanılabilir. SNG üretiminde bir tepkime şöyledir.

$$4\,CO(g) + 8\,H_2(g) \longrightarrow 3CH_4(g) + CO_2(g) + 2\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = ?$$

Aşağıdaki verilerden gerekli olanları kullanarak, bu tepkimenin $\Delta H°$ değerini bulunuz.

$$C(\text{grafit}) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g) \qquad \Delta H° = -110{,}5\ \text{kJ}$$

$$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H° = -283{,}0\ \text{kJ}$$

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H° = -285{,}8\ \text{kJ}$$

$$C(\text{grafit}) + 2\,H_2(g) \longrightarrow CH_4(g) \qquad \Delta H° = -74{,}81\ \text{kJ}$$

$$CH_4(g) + 2\,O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -890{,}3\ \text{kJ}$$

74. Önemli bir ticari çözücü olan CCl_4 sıvısı, $Cl_2(g)$ nın bir karbon bileşiği ile tepkimesinden elde edilir. Aşağıda verilerden yararlanarak

$$CS_2(s) + 3\,Cl_2(g) \longrightarrow CCl_4(s) + S_2Cl_2(s)$$

tepkimesinin $\Delta H°$ değerini bulunuz.

$$CS_2(s) + 3\,O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2\,SO_2(g) \qquad \Delta H° = -1077\ \text{kJ}$$

$$2S(s) + Cl_2(g) \longrightarrow S_2Cl_2(s) \qquad \Delta H° = -58{,}2\ \text{kJ}$$

$$C(s) + 2\,Cl_2(g) \longrightarrow CCl_4(s) \qquad \Delta H° = -135{,}4\ \text{kJ}$$

$$S(s) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g) \qquad \Delta H° = -296{,}8\ \text{kJ}$$

$$SO_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow SO_2Cl_2(s) \qquad \Delta H° = +97{,}3\ \text{kJ}$$

$$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H° = -393{,}5\ \text{kJ}$$

$$CCl_4(s) + O_2(g) \longrightarrow COCl_2(g) + Cl_2O(g) \qquad \Delta H° = -5{,}2\ \text{kJ}$$

75. Hess yasasını ve şu verileri kullanarak

$$CH_4(g) + 2\,O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2\,H_2O(g) \qquad \Delta H° = -802\ \text{kJ}$$

$$CH_4(g) + CO_2(g) \longrightarrow 2\,CO(g) + 2\,H_2(g) \qquad \Delta H° = +247\ \text{kJ}$$

$$CH_4(g) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + 3\,H_2(g) \qquad \Delta H° = +206\ \text{kJ}$$

aşağıdaki tepkimenin $\Delta H°$ değerini bulunuz.

$$CH_4(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g) + 2\,H_2(g)$$

Bu tepkime H_2 gazı eldesi için önemli bir yöntemdir.

76. 1,3-Bütadien [$C_4H_6(g)$], *n*-bütan [$C_4H_{10}(g)$] ve $H_2(g)$ in mol başına yanma ısıları ($\Delta H°$) sırasıyla –2540,2; –2877,6 ve –285,8 kJ dur. Bu verilerden, 1,3-bütadienin *n*-bütana hidrojenlenme ısısını bulunuz.

$$C_4H_6(g) + 2\,H_2(g) \longrightarrow C_4H_{10}(g) \qquad \Delta H° = ?$$

[*İpucu*: Yanma tepkimelerinin eşitliklerini yazınız. Bütün yanmaların ürünleri $CO_2(g)$ ve $H_2O(s)$ dır.]

77. Glikoliz sırasında bir glukoz molekülü, $C_6H_{12}O_6(k)$ iki laktik asit molekülüne $CH_3CH(OH)COOOH(k)$ dönüşür. Glukoz ve laktik asidin yanma tepkimelerini kullanarak glikoliz'in standart entalpisini bulunuz.

Standard Oluşum Entalpileri

79. Aşağıda verilen tepkimelerin standart entalpi değişimlerini, Çizelge 7.2 deki standart oluşum entalpilerini ve eşitlik (7.21) i kullanarak bulunuz.

(a) $C_3H_8(g) + H_2(g) \longrightarrow C_2H_6(g) + CH_4(g)$;

(b) $2\,H_2S(g) + 3\,O_2(g) \longrightarrow 2\,SO_2(g) + 2\,H_2O(s)$,

80. Aşağıda verilen tepkimenin standart entalpi değişimini Çizelge 7.2 ve 7.3 deki standart oluşum entalpilerini ve eşitlik (7.21) i kullanarak bulunuz.

$$H_4^+(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow H_2O(s) + NH_3(g$$

81. ZnS(k) nin *bir molü için standart* oluşum entalpisini, aşağıdaki bilgiden, Ek-D deki verilerden ve eşitlik (7.21) den yararlanarak bulunuz.

$$2\,ZnS(k) + 3\,O_2(g) \longrightarrow 2\,ZnO(k) + 2\,SO_2(g) \qquad \Delta H° = -878{,}2\ kJ$$

82. Şekil 7-18 deki verileri ve Kesim 3-7 deki bilgileri kullanarak, hidrokarbonların molekül yapıları ile standart oluşum entalpileri arasında bir ilişki kurunuz.

83. Aşağıdaki tepkimenin 25 °C deki standart entalpi değişimini, Çizelge 7.2 de verilen standart oluşum entalpilerinden yararlanarak bulunuz.

$$2\,Cl_2(g) + 2\,H_2O(s) \longrightarrow 4\,HCl(g) + O_2(g) \qquad \Delta H° = ?$$

84. Aşağıdaki tepkimenin 25 °C deki standart entalpi değişimini, Ek-D den yararlanarak bulunuz.

$$Fe_2O_3(k) + 3\,CO(g) \longrightarrow 2\,Fe(k) + 3\,CO_2(g) \qquad \Delta H° = ?$$

85. Çizelge 7.2 deki verileri kullanarak, $C_2H_5OH(s)$ un standart yanma ısısını bulunuz. Tepkenler ve ürünler 25 °C ve 1 bar dadır.

86. Çizelge 7.2 deki verilerden ve 1 mol pentanın, $C_5H_{12}(s)$ tam yanmasında $\Delta H°$= –3509 kJ olduğu gerçeğinden yararlanarak, 1 mol $C_5H_{12}(s)$ ın $CO(g)$ ve $H_2(g)$ den sentezi için $\Delta H°$ değerini hesaplayınız.

$$5\,CO(g) + 11\,H_2(g) \longrightarrow C_5H_{12}(s) + 5\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = ?$$

$$C_6H_{12}O_6(k) + 6\,O_2(g) \longrightarrow 6\,CO_2(g) + 6\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -2808\ kJ$$

$$CH_3CH(OH)COOH(k) + 3\,O_2(g) \longrightarrow 3\,CO_2(g) + 3\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -1344\ kJ$$

78. Glukozun etanola fermantasyonu tepkimesinin standart entalpisi

$$C_6H_{12}O_6(k) \rightarrow 2\,CH_3CH_2OH(s) + 2\,CO_2(g) \qquad \Delta H° = -72\ kJ$$

olduğuna göre, glukozun standart yanma entalpisini kullanarak, etanolun yanma entalpisini bulunuz.

87. Çizelge 7.2 deki verilerden ve aşağıdaki tepkimenin $\Delta H°$ değerinden yararlanarak, 25 °C ve 1 bar da $CCl_4(g)$ ün standart oluşum entalpisini bulunuz.

$$CH_4(g) + 4\,Cl_2(g) \longrightarrow CCl_4(g) + 4\,HCl(g) \qquad \Delta H° = -397{,}3\ kJ$$

88. Çizelge 7.2 deki verileri ve aşağıdaki tepkimenin $\Delta H°$ değerini kullanarak, 25 °C ve 1 bar da $C_6H_{14}(s)$ ın standart oluşum entalpisini bulunuz

$$2\,C_6H_{14}(s) + 19\,O_2(g) \longrightarrow 12\,CO_2(g) + 14\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -8326\ kJ$$

89. Çizelge 7.3 ve Ek-D deki verileri kullanarak aşağıdaki tepkimenin standart entalpi değişimini bulunuz.

$$Al^{3+}(suda) + 3\,OH^-(suda) \longrightarrow Al(OH)_3(k) \qquad \Delta H° = ?$$

90. Çizelge 7.3 ve Ek-D deki verilerden yararlanarak aşağıdaki tepkimenin standart entalpi değişimini bulunuz.

$$Mg(OH)_2(k) + 2\,NH_4^+(suda) \longrightarrow Mg^{2+}(suda) + 2\,H_2O(s) + 2\,NH_3(g) \qquad \Delta H° = ?$$

91. Kireçtaşının, $CaCO_3(k)$, sönmemiş kireç, $CaO(k)$ ve $CO_2(g)$ vermek üzere bozunması, gazla ısıtılan bir fırında gerçekleştirilir. Ek-D deki verileri kullanarak $1{,}35 \times 10^3$ kg $CaCO_3(k)$ ın bozunması için ne kadar ısı gerektiğini bulunuz. (Bu koşullardaki tepkime ısılarının 25°C ve 1 bar'daki tepkime ısıları ile aynı olduğunu kabul ediniz.)

92. Çizelge 7.2 deki verileri kullanarak yandığında $5{,}00 \times 10^4$ kJ lük ısı açığa çıkaran, 24,6 °C ve 756 mmHg daki bütan gazının, $C_4H_{10}(g)$, hacmini bulunuz.

93. Karıncalar, ısırdıkları zaman formik asit (HCOOH) salgılarlar. Çizelge 7.2 deki verileri ve formik asidin standart yanma entalpisini ($\Delta H°$ = –255 kJ/mol) kullanarak formik asitin standart oluşum entalpisini bulunuz.

94. Laktik asidin standart oluşum entalpisini [$CH_3CH(OH)COOH(k)$] $\Delta H°_{ol}$ = –694,0 kJ/mol ve Çizelge 7.2 deki verileri kullanarak laktik asidin yanma entalpisini bulunuz.

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

95. İngiliz ısı birimi (Btu) 1 lb suyun sıcaklığını 1°F yükseltmek için gerekli ısı miktarıdır. Suyun özgül ısısının sıcaklıktan bağımsız olduğunu kabul ederek, bir depodaki 40 gal suyun sıcaklığını 48 °F dan 145 °F a çıkarmak için gerekli ısı miktarını, **(a)** Btu; **(b)** kcal; **(c)** kJ cinsinden bulunuz.

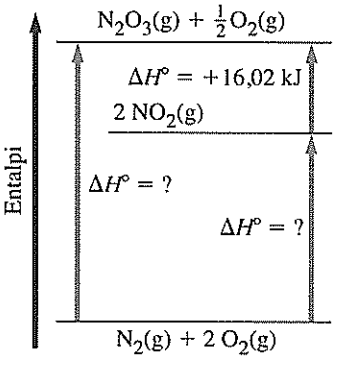
96. 7,26 kg lık bir gülle 168 m yüksekliğinde bir binadan bırakılıyor. Güllededeki sıcaklık artışı en fazla ne kadar olur? Güllenin özgül ısısını 0,47 J $g^{-1}°C^{-1}$ alınız. Ölçülen sıcaklık artışı, hesaplanandan niçin daha küçüktür?

97. Kalorimetre bombası ölçmelerinde değişik bir yol, ısı kapasitesini, içerdiği suyu *hariç tutarak* hesaplamaktır. Bu durumda suyun soğurduğu ısı ve kalorimetrenin geri kalan kısmının soğurduğu ısı ayrı ayrı hesaplanır ve toplanır. 983,5 g su içeren bir kalorimetre düzeneği 1,354 g antrasenin yanmasıyla ayarlanıyor. Kalorimetrenin sıcaklığı 24,87 °C dan 35,63 °C a yükseliyor. Bu kez 968,6 g su içeren aynı düzenekte 1,053 g sitrik asit yakılıyor ve sıcaklığın 25,01 °C dan 27,19 °C a yükseldiği görülüyor. Antrasen'in, $C_{14}H_{10}(k)$, yanma ısısı –7067 kJ/mol $C_{14}H_{10}$ dur. Sitrik asidin, $C_6H_8O_7$, yanma ısısı kaç kJ/mol dur?

98. Alıştırma 97 deki yöntem bazı kalorimetre bombası deneylerinde kullanılır. 1,148 g benzoik asit, aşırı $O_2(g)$ ile, 1181 g su içeren bir kalorimetrede yakılıyor. Suyun sıcaklığı 24,96 °C dan 30,25 °C a çıkıyor. Benzoik asidin yanma ısısı –26,42 kJ/g dır. İkinci bir deneyde 0,895 g toz kömür örneği aynı düzenekte yakılıyor ve 1162 g suyun sıcaklığı 24,98 °C dan 29,81 °C a yükseliyor. $2,15 \times 10^9$ kJ ısı elde etmek için kaç ton (1 ton = 1000 kg) kömür yakılmalıdır?

99. Kimya El kitabında hidrojenin yanma ısısı için iki farklı değer verilmektedir: $H_2O(s)$ oluştuğunda 33,88 kcal/g H_2 ve $H_2O(g)$ oluştuğunda 28,67 kcal/g H_2. Bu iki değerin neden farklı olduğunu ve bu farkın hangi özellikten ileri geldiğini belirtiniz. Sonuçlarınızı desteklemek için kanıt gösteriniz.

100. Aşağıda gösterilen diyagramda eksik olan değerleri belirleyiniz.



101. Bir doğal gaz numunesi *mol yüzdesi olarak*, % 83,0 CH_4, % 11,2 C_2H_6 ve % 5,8 C_3H_8 içermektedir. Bu gazın 385 L si 22,6 °C ve 739 mmHg da, aşırı oksijenle, sabit basınçta yakılıyor. Açığa çıkan enerji kaç kJ'dur?

102. Kömürün gazlaştırılmasında net tepkime,

$$2\,C(\text{grafit}) + 2\,H_2O(g) \longrightarrow CH_4(g) + CO_2(g)$$

dır. Bu net eşitliğin Kesim 7-9 daki eşitliklerin uygun biçimde birleştirilmesinden oluştuğunu gösteriniz.

103. Aşağıdaki gazlardan hangisi litre başına (STP de) daha fazla yakıt değerine sahiptir? Yani, hangisinin yanma ısısı daha fazladır? [*İpucu*: Yanabilen gazlar CH_4, C_3H_8, CO ve H_2 dir.]

(a) kömür gazı: hacimce %49,7 H_2, %29,9 CH_4, %8,2 N_2, %6,9 CO, %3,1 C_3H_8, %1,7 CO_2 ve %0,5 O_2.

(b) gübre gazı: hacimce %66,0 CH_4, %30,0 CO_2 ve %4,0 N_2.

104. Ekzotermik bir tepkimenin ısısını, eritilen buz miktarı ile ölçen kalorimetreye buz kalorimetresi denir. 25,0 °C ve 744 mmHg da 0,100 L metan, CH_4, gazı sabit basınçta, havada yakılıyor. Açığa çıkan ısı 0°C ta 9,53 g buzu eritebiliyor (buz için $\Delta H_{\text{erime}} = 6{,}01$ kJ/mol)

(a) Yanma tepkimesinin eşitliğini yazınız ve yanmanın bir tam yanma olmadığını gösteriniz.

(b) CH_4 ın tam yanmamasından CO(g) oluştuğunu varsayınız ve yanmayı tek bir eşitlikle ve katsayılar tamsayı olacak şekilde yazınız. Diğer ürün $H_2O(s)$ dur. ΔH değeri nedir?

105.

$$C_2H_4(g) + 3\,O_2(g) \longrightarrow 2\,CO_2(g) + 2\,H_2O(s) \qquad \Delta H° = -1410{,}9\text{ kJ}$$

tepkimesinde H_2O sıvı değil de gaz halinde elde edilseydi, **(a)** tepkime ısısı, verilenden daha büyük (daha negatif) mü, yoksa daha küçük (daha az negatif) mü olacaktı? **(b)** Yanıtınızı açıklayınız. **(c)** Bu durumda $\Delta H°$ değerini hesaplayınız.

106. 26,0 °C de 200,0 L lik bir silindirdeki bütanın bir kısmı alınıyor ve aşırı hava ile sabit basınçta yakılıyor. Silindirdeki gaz basıncının 2,35 atm den 1,10 atm e düştüğü görülüyor. Açığa çıkan ısı 132,5 L suyun sıcaklığını 26,0 °C dan 62,2 °C a yükseltiyor. Yanma ürünlerinin $CO_2(g)$ ve $H_2O(s)$ olduğunu kabul ederek, su ısıtıcısının verimini hesaplayınız. (Yanma ısısının yüzde kaçı su tarafından soğurulmuştur?)

107. Glukoz, $C_6H_{12}O_6$, metabolizmasının ürünleri $CO_2(g)$ ve $H_2O(s)$ dır. Bu işlemde açığa çıkan ısı yaklaşık % 70 verimle yararlı işe dönüşür. 1450 m yüksekliğe tırmanan 58,0 kg lık bir kişinin harcadığı glukoz miktarını hesaplayınız. Tırmanmada yapılan işin, 58,0 kilogramı 1450 m yüksekliğe kaldırmak için gerekli işin dört katı olduğunu kabul ediniz. ($C_6H_{12}O_6(k)$ için $\Delta H°_{ol} = -1273{,}3$ kJ/mol dur.)

108. Bir alkan hidrokarbonunun formülü C_nH_{2n+2} dir. Alkanların oluşum entalpileri C atomlarının sayısı arttıkça azalır (daha negatif olur). Bütan, $C_4H_{10}(g)$ formülüne eklenen her CH_2 grubu oluşum entalpisini, $\Delta H°_{ol}$, yaklaşık –21 kJ/mol değiştirir. Bu bilgiden ve Çizelge 7.2 den yararlanarak, heptanın, $C_7H_{16}(s)$, yanma ısısını öngörünüz.

109. 1,00 L (STP da) bir doğal gaz tam yandığında 43,6 kJ ısı vermektedir. Bu gaz bir $CH_4(g)$ ve $C_2H_6(g)$ karışımı ise, *hacimce* yüzde bileşimi nedir?

110. Bir kaynak, H_2SO_4 ile başlayan birçok standart oluşum entalpisi listesi vermektedir. Örneğin, saf $H_2SO_4(s)$ için $\Delta H°_{ol}$ = –814,0 kJ/mol ve bazı H_2SO_4–$H_2O(s)$ çözeltileri için $\Delta H°_{ol}$ değerleri verilmiştir. 1 mol H_2SO_4 ile 1 mol H_2O için, –841,8; 10 mol H_2O –880,5; 50 mol H_2O, –886,8; 100 mol H_2O, –887,7; 500 mol H_2O, –890,5; 1000 mol H_2O, –892,3, 10 000 mol H_2O, –900,8 ve 100 000 mol H_2O, –907,3.

(a) Bu değerlerin neden birbirine eşit olmadığını açıklayınız.

(b) Sonsuz seyreltik halde $\Delta H°_{ol}[H_2SO_4(suda)]$ –909,3 kJ/mol dür. Bu bölümdeki hangi verilerle bu sonucu doğrularsınız? Açıklayınız.

(c) Saf $H_2SO_4(s)$ den 500,0 mL 1,00 M $H_2SO_4(suda)$ hazırlanırsa, sıcaklık ne kadar değişir? ($H_2O(s)$ ve $H_2SO_4(s)$ in başlangıçta aynı sıcaklıkta olduğunu ve $H_2SO_4(suda)$ için özgül ısının yaklaşık 4,2 g^{-1} $°C^{-1}$ olduğunu kabul ediniz).

111. Kömürün gazlaştırılmasını dikkate alarak (sayfa 278), gazlaştırma tepkimesi için (eşitlik 7.24) gerekli ısının bir kısmının *metanlaşma* (metan oluşumu) tepkimesi tarafından sağlandığını gösteriniz. Bu gerçek modern işlemlerle *sentetik doğal gaz* üretiminin başarısına önemli katkıda bulunur.

112. 25 °C ve 765,5 Torr basınçta 582 mL hacim kaplayan 1,103 g gaz halindeki karbon-hidrojen-oksijen bileşiği örneği, fazla $O_2(g)$ ile kalorimetre bombasında yakılıyor. Yanma ürünleri; 2,108 g $CO_2(g)$ ve 1,294 g $H_2O(s)$ olup, yanmada kalorimetre düzeneğinin sıcaklığını 25,00 °C den 31,94 °C ye çıkaracak miktarda ısı salınıyor. Kalorimetrenin ısı kapasitesi 5,015 kJ/°C dır. Bu yanma tepkimesinin eşitliğini yazınız ve tepkimenin 25,00 °C de $\Delta H°$ değerini bulunuz.

113. Yiyeceklerin mikrodalga fırınında pişme süresini çeşitli faktörler etkiler. Bunlardan birisi özgül ısıdır. 250 mL lik bir tavuk suyunu 4 °C dan (buzdolabı sıcaklığı) 50 °C a, 700 W mikrodalga fırında ısıtabilmek için gerekli yaklaşık süreyi bulunuz. Tavuk suyunun yoğunluğunun 1 g/mL ve özgül ısısının 4,2 J g^{-1} $°C^{-1}$ olduğunu kabul ediniz.

114. İki eşit ağırlık yerine iki farklı ağırlık kullanarak Şekil 7-8 dekine benzer bir düzenek kurduğumuzu varsayalım. Ağırlığın biri 10,00 cm çap ve 25 cm uzunluğunda çelik silindirdir, diğer ağırlık 745 Torr basınç oluşturmaktadır. Genleşmenin olduğu silindirde gazın sıcaklığı 25 °C ve gazı tutan pistonun çapı 12,00 cm, pistonun gaz genleşme silindirinin tabanının üstünde kalan yüksekliği 8,10 cm, çeliğin yoğunluğu 7,75 g/cm^3 dür. Çelik silindir pistondan ani olarak kaldırılırsa ne kadar iş yapılır?

115. Bir mol sodyum karbonat dekahidrat (yıkama sodası) yavaşça ısıtıldığında 155,3 kJ ısı soğuruluyor, su buharı ve sodyum karbonat heptahidrat oluşuyor. Şiddetle ısıtıldığında heptahidrat 320,1 kJ ısı soğuruyor ve daha çok su buharı kaybederek monohidrat oluşturuyor. Isıtılmaya devam edildiğinde 57,3 J ısı soğurularak susuz tuz (soda) elde ediliyor. 1 mol yıkama sodasının susuz sodaya dönüşümündeki ΔH değerini bulunuz. İşlem için ΔU değeri ne olabilir? Neden ΔU sadece tahmin edilebilir?

116. Ostwalt yöntemi ile $NH_3(g)$ in NO(g) e yükseltgenmesinde, sıcaklık, basınç ve katalizörle temas süresi çok dikkatli kontrol edilmelidir. Çünkü $NH_3(g)$ yükseltgenmesinde koşullarına göre diğer ürünler olan $N_2(g)$, $N_2O(g)$ ve $NO_2(g)$ dan herhangi biri oluşabilir. $NH_3(g)$ un $N_2(g)$ ye yükseltgenmesinin, olası dört tepkime içinde en ekzotermik olduğunu gösteriniz.

117. Merak Ediyorsanız (7-1) kesiminde entalpinin sıcaklıkla değişimi tartışıldı ve sabit basınç işlemlerinde entalpinin sıcaklıkla değişimini göstermek için q_p= ısı kapasitesi × sıcaklık değişimi = $C_P \times \Delta T$ eşitliği verildi. Sabit basınçta ısı kapasitesi, entalpinin sıcaklıkla değişimini veren doğrunun eğimine eşittir,

$$C_P = \frac{dH}{dT} \text{ (sabit basınçta)}$$

Burada C_p ısı kapasitesidir. Isı kapasitesi bir kapasite özelliğidir. Molar ısı kapasiteleri, 1 mol madde için $C_{p,m}$ olarak verilir ve bu durumda şiddet özelliğidir. Sabit basınçtaki bu ısı kapasitesi, sıcaklık değişimine karşı entalpi değişimini bulmak için kullanılır. Çok küçük bir değişim için,

$$dH = C_P dT \text{ (sabit basınçta)}$$

yazılır. Sıcaklık T_1 den T_2 ye değiştiğinde

$$\int_{H(T_1)}^{H(T_2)} dH = H(T_2) - H(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} C_P dT$$

yazılır. C_p nin sıcaklığa bağlı olmadığını kabul edersek,

$$\Delta H = C_P \times \Delta T$$

dır. Diğer taraftan, ısı kapasitesi aşağıda verilen ampirik eşitliğe göre sıcaklığa bağlıdır.

$$C_{P,m} = a + bT + \frac{c}{T^2}$$

$N_2(g)$, 25 °C den 100,0 °C a ısıtıldığında molar entalpisindeki değişim nedir? Azotun molar ısı kapasitesinin sıcaklığa bağlılığı aşağıdaki gibidir.

$$C_{P,m} = 28{,}58 + 3{,}77 \times 10^{-3} T - \frac{0{,}5 \times 10^5}{T^2} \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

118. -5,0 °C daki 10,0 g buzu 100°C da buhara dönüştürmek için ne kadar ısı gereklidir? Sabit basınçda buzun özgül ısı kapasitesinin sıcaklığa bağlılığı $C_p(T)/(\text{kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}) = 1{,}0187T - 1{,}49 \times 10^{-2}$, suyun özgül ısı kapasitesinin sıcaklığa bağlılığı $C_p(T)/(\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}) = -1{,}0 \times 10^{-7}T^3 + 1{,}0 \times 10^{-4}\,T^2 - 3{,}92 \times 10^{-2}\,T + 8{,}7854$ dır.

119. Gaz halindeki suyun 298,15 K deki standart oluşum entalpisi -241,82 kJ/mol dur. Kesim 7-16 deki bilgileri kullanarak 100 °C'deki değerini bulunuz. Sabit basınçta molar ısı kapasiteleri $H_2O(g)$: 33,58 J K^{-1} mol^{-1}; $H_2(g)$: 28,84 J K^{-1} mol^{-1}; $O_2(g)$: 29,37 J K^{-1} mol^{-1} dir. Isı kapasitelerinin sıcaklıktan bağımsız olduklarını kabul ediniz.

Özellikli Sorular

120. James Joule, termodinamiğin birinci yasası ile ilgili çalışmasını 1850 yılında yayınladı. Çalışma, "bir pound suyun sıcaklığını 1 °F yükseltmek için gerekli ısıyı açığa çıkarabilmek için 772 lb luk bir yükün boşlukta bir foot düşmesi gerekir" şeklinde ifade edildi. Bölüm içinde verilen bilgilerin ışığında bu ifadenin geçerliliğini kanıtlayınız.

121. Özgül ısı ölçümleriyle ilgili olarak Pierce Dulong ve Alexis Petit 1818 yılında, bir elementin özgül ısısının atom ağırlığı (atom kütlesi) ile ters orantılı olarak değiştiğini öne sürmüşlerdir. Böylece yeni bir elementin özgül ısısı ölçülerek atom kütlesi kolayca belirlenebilmiştir.

(a) Çizelge 7.1 deki verileri ve ön kapağın içindeki atom kütlelerini kullanarak, atom kütlelerinin özgül ısı ile değişimini gösteren grafiği çiziniz ve bu doğrunun denklemini yazınız.

(b) 1817 keşfedilen kadmiyum elementi için özgül ısıyı 0,23 J g^{-1} $°C^{-1}$ alarak ve (a) şıkkında bulduğunuz doğru denklemini kullanarak, kadmiyumun yaklaşık olarak atom kütlesini bulunuz.

(c) 75,0 g lık bir metal örneğinin sıcaklığını 15 °C yükseltmek için 450 J ısı gerektirmektedir. Bu metal ne olabilir?

122. Nötürleşme tepkimelerinde açığa çıkan ısı miktarını kullanarak, tepkimenin stokiyometrisini belirleyebiliriz. Aşağıdaki çizelgede verilen değerler, toplam çözelti hacmı 60,0 mL olan 1,00 M NaOH ile 1,00 M sitrik asidin, ($C_6H_8O_7$) nötürleşme tepkimesine aittir.

1,00 M NaOH Kullanılan mL	1,00 M Sitrik Asit Kullanılan mL	ΔT, °C
20,0	40,0	4,7
30,0	30,0	6,3
40,0	20,0	8,2
50,0	10,0	6,7
55,0	5,0	2,7

(a) Kullanılan 1,00 M NaOH in mL biriminde miktarına karşı ΔT yi grafiğe geçiriniz ve nötürleşme tepkimesinin eşdeğerlik noktasında NaOH ve sitrik asidin stokiyometrik oranını belirleyiniz.

(b) Tepkenler tam stokiyometrik oranda olduklarında neden nötürleşmedeki sıcaklık değişimi en fazladır? Yani, niçin nötürleşmenin tam olduğundan emin olmak için tepkenlerden birinden fazla miktarda kullanıp daha fazla sıcaklık artışı sağlayamıyoruz?

(c) Sitrik asidin, asidik özelliğini hassas olarak yansıtmak için formülünü tekrar yazınız. Daha sonra nötürleşme tepkimesi için denkleşmiş net iyonik eşitliği yazınız.

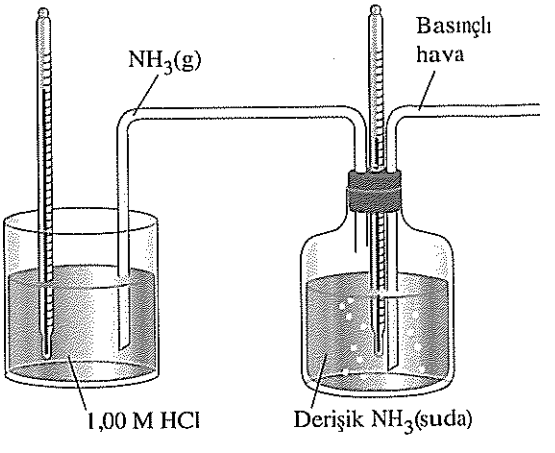
123. Hess yasasını doğrulamak için yapılan bir öğrenci deneyinde

$$NH_3(\text{der., suda}) + HCl(\text{suda}) \longrightarrow NH_4Cl(\text{suda})$$

tepkimesi iki farklı yoldan gerçekleştiriliyor. Önce 8,00 mL derişik NH_3(suda), 100,00 mL ve 1,00 M HCl ye bir kalorimetre de ekleniyor. [NH_3(suda) biraz fazla]. Tepkenler başlangıçta 23,8 °C ve nötürleşmeden sonraki sıcaklık 35,8 °C dır. Aşağıda şeması gösterilen ikinci bir deneyde 100,0 mL derişik amonyaktan hava kabarcıkları geçirilerek $NH_3(g)$ çıkması sağlanıyor. $NH_3(g)$, 100 mL 1,00 M HCl ile nötürleştiriliyor. Derişik NH_3(suda) nın sıcaklığı 19,3 °C dan 13,2 °C a düşüyor. Aynı anda 1,00 M HCl in sıcaklığı 23,8 °C dan 42,9 °C a NH_3 ile nötürleştikçe yükseliyor. Bütün çözeltilerin yoğunluğunu 1,00 g/mL ve özgül ısılarını 4,18 J g^{-1} $°C^{-1}$ kabul ederek,

(a) İkinci deneyde gerçekleşen olaydaki iki tepkimenin eşitliğini ve ΔH değerlerini yazınız. Bu iki eşitliğin toplamının, birinci deneydeki tepkime eşitliği ile aynı olduğunu gösteriniz.

(b) Denel hata sınırları içinde net tepkimenin ΔH sinin Hess yasasını doğrular tarzda, her iki deneyde de aynı olduğunu gösteriniz.



124. İdeal bir gaz ısıtıldığı zaman iç enerjisinde meydana gelen değişim, gaz moleküllerinin ortalama öteleme kinetik enerjisindeki artma ile sınırlıdır. Bu nedenle gazın ΔU değeri ile sıcaklık değişimi arasında basit bir bağıntı vardır. Bölüm 6 da anlatılan gazların kinetik-molekül kuramındaki fikirler yardımıyla bu bağıntıyı çıkarınız. Bundan sonra, aşağıdaki molar ısı kapasitelerinin sayısal değerlerini (J mol^{-1} K^{-1} olarak) bulunuz.

(a) Sabit hacimde bir mol gazın ısı kapasitesi, C_V,

(b) Sabit basınçta bir mol gazın ısı kapasitesi, C_p.

125. Örnek 7-5 i gözönüne alarak, (298 K de, 0,100 mol He un, tek basamakta 2,40 atm den 1,20 atm e genleşmesini) ve sayfa 257 de (bakınız Şekil 7-11) tanımlanan iki basamaklı (2,40 atm ⟶ 1,80 atm ⟶ 1,30 atm) genleşmesini anımsayarak,

(a) He, 0,10 atm lik aralıklarla, 2,40 atm den 1,20 atm e bir dizi basamak üzerinden genleştirildiğinde yapılan toplam işi bulunuz.

(b) Aşağıda iki renkli dikdörtgen ile gösterilen iki basamaklı işin toplam değerini bulunuz.

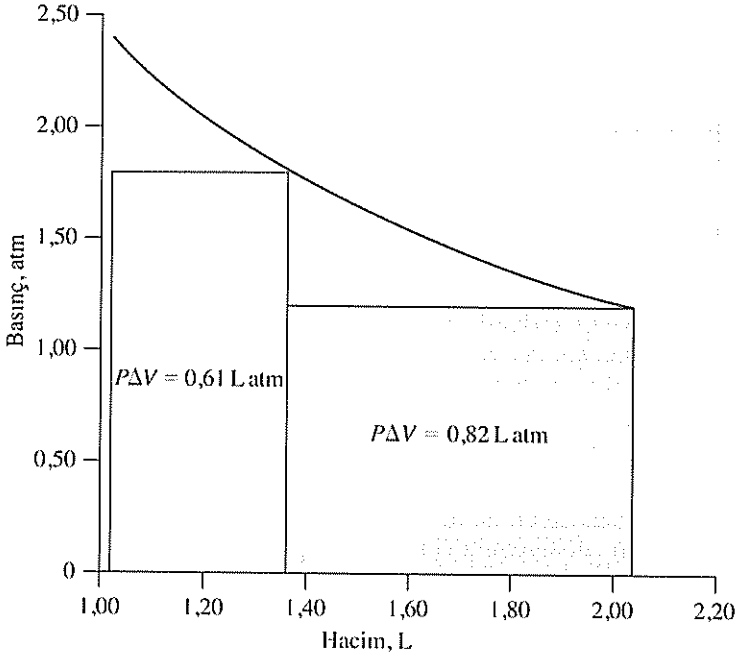
(c) Genleşme sonsuz sayıda basamak üzerinden yürüdüğünde, yapılan işin maksimum olduğunu gösteriniz. Bunu yapmak için her bir diferansiyel iş miktarını $dw = -PdV$ olarak ifade ediniz ve bu büyüklüklerin toplamı için integral yöntemini kullanınız. Gazın ideal davrandığını kabul ediniz.

(d) İşlemin tersini düşününüz, yani He 1,30 atm den 2,40 atm e sıkıştırılsın.

Bu sıkışmayı gerçekleştirmek için gerekli olan en büyük ve en küçük iş miktarı nedir? Açıklayınız.

(e) (d) de tanımlanan izotermal sıkışmada, He un ideal gaz gibi davrandığını kabul ederek, iç enerji değişimini bulunuz? q nun değeri nedir?

(f) (c) de çıkarılan iş formülünü kullanarak q/T için bir ifade çıkarınız. Bu bir hal fonksiyonu mudur? Açıklayınız.



126. Çeşitli elementin özgül ısılarına bakınız ve özgül ısılarla atom kütlelerinin çarpımını, atom kütlelerine karşı grafiğe geçiriniz. Bu grafiğe bakarak verileri açıklamak için bir hipotez geliştiriniz. Hipotezinizi nasıl test edersiniz?

Kendi Kendini Deneme Soruları

127. Aşağıdaki terim ve simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız ya da açıklayınız. (a) ΔH; (b) $P\Delta V$; (c) $\Delta H°_{ol}$; (d) standart hal; (e) fosil yakıt.

128. Aşağıdaki kavram ve yöntemleri kısaca tanımlayınız. (a) enerjinin korunumu yasası; (b) kalorimetre bombası; (c) hal fonksiyonu; (d) entalpi diyagramı; (e) Hess yasası.

129. Terimler arasındaki önemli farkları açıklayınız. (a) sistem ve çevre; (b) ısı ve iş; (c) özgül ısı ve ısı kapasitesi; (d) endotermik ve ekzotermik; (e) sabit hacim işlemi ve sabit basınç işlemi.

130. 25 °C da 225 mL su içeren bir poliüretan köpük bardağına 75 °C da 125 g bir metal örneği atılarak sıcaklıktaki artış kaydediliyor. Çizelge 7.1 i dikkate alarak en fazla sıcaklık artışının hangi metalde olacağını belirtiniz. (a) kurşun, (b) alüminyum, (c) demir, (d) bakır.

131. 80 °C da 75,0 mL su, 20,0 °C da 100,0 mL suya ekleniyor. En uygun son sıcaklık şu verilerden hangisidir. (a) 40 °C; (b) 46 °C; (c) 50 °C; (d) 28 °C.

132. ΔU = 100 J olan bir sistem 100 J ısı salarsa verilen seçeneklerden hangisi doğru olur? (a) sistem hiç iş yapmaz, (b) sistem 200 J iş yapar, (c) sisteme 100 J iş yapılır, (d) sisteme 200 J iş yapılır.

133. NaOH(k) ın suda çözünme ısısı -41,6 kJ/mol NaOH dır. NaOH(k) suda çözündüğünde çözeltinin sıcaklığı ne olur? (a) artar, (b) azalır, (c) sabit kalır, (d) ne kadar NaOH çözündüğüne bağlı olarak artabilir de azalabilir de.

134. $CO_2(g)$ nin standart molar oluşum entalpisi için hangisi doğrudur? (a) sıfırdır, (b) grafitin molar yanma ısısına, (c) CO(g) ve $O_2(g)$ standart oluşum entalpileri toplamına, (d) CO(g) ın molar yanma ısısına eşittir.

135. Aşağıdaki cümlelerden hangisi yanlıştır?.

(a) $N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\ NO\ (g)$; (b) $\Delta H > 0$ tepkimesi için $q_V = q_P$ dır

(b) Endotermik bir tepkime için $\Delta H > 0$ dır

(c) Elementlerin referans hali için en kararlı hali seçilmeli ve $\Delta H^0_{ol} = 0$ alınmalıdır.

(d) Bir tepkime için asla ΔU ve ΔH aynı değer olamaz.

(e) Kuvvetli asidin kuvvetli bazla nötürleşmesinde $\Delta H < 0$ dır.

136. 126,5°C da 1,22 kg lık bir demir parçası, 22,1°C da 981 g su içine atılıyor. Sıcaklığın 34,4°C yükseldiği görülüyor. 99,8 °C daki aynı demir parçası 26,2°C daki 325 mL gliserin içine atılırsa, son sıcaklık ne olur? [Gliserin için d = 1,26 g/mL; Cp = 219 $JK^{-1}mol^{-1}$]

137. Aşağıda standart entalpi değişimleri verilen tepkimeler için denkleştirilmiş kimyasal eşitlikleri yazınız.

(a) ΔH°_{ol} = +82,05 kJ/mol $N_2O(g)$

(b) ΔH°_{ol} = –394,1 kJ/mol $SO_2Cl_2(s)$

(c) ΔH°_{yanma} = –1527 kJ/mol $CH_3CH_2COOH(s)$

138. C(grafit) ve CO(g) için standart molar yanma ısıları sırasıyla -393,5 ve -283 kJ/mol dür. Bu değerleri ve aşağıdaki tepkimeyi kullanarak $COCl_2(g)$ için standart molar oluşum entalpisini bulunuz.

$$CO(g) + Cl_2(g) \longrightarrow COCl_2(g) \qquad \Delta H^\circ = -108\ kJ$$

139. Bir kimyasal bileşiğin standart oluşum entalpisi sıfır olabilir mi? Olabilirse, bu nasıl mümkündür, açıklayınız?

140. Bir kimyasal tepkime için $\Delta U < 0$ ve $\Delta H > 0$ olabilir mi? Açıklayınız.

141. Bu bölümün kavramlarından yararlanarak profesyonel aşçıların yemek pişirmek için neden gazlı ocakları, elektrikli ocaklara tercih ettiklerini açıklayınız.

142. Yalıtılmış bir kapta bulunan sıcak su, soğuk bir metal ile temas ettiriliyor. Metal ve suyun son sıcaklıkları eşit olduğunda, bu işlemdeki enerji değişimi için ne söylenebilir? (a) sıfır, (b) negatif, (c) pozitif, (d) bilgi yetersizdir.

143. 25 °C de su içeren toprak bir testi, sıcaklığın 30 °C olduğu bir günde gölgede bırakılıyor. Testinin dış yüzeyinin nemli olduğu görülüyor. Testideki suyun sıcaklığı ne olur? (a) artar, (b) azalır, (c) aynı kalır.

144. Termodinamiğin arkasındaki fikirleri kapsayan bir kavram haritası oluşturunuz.

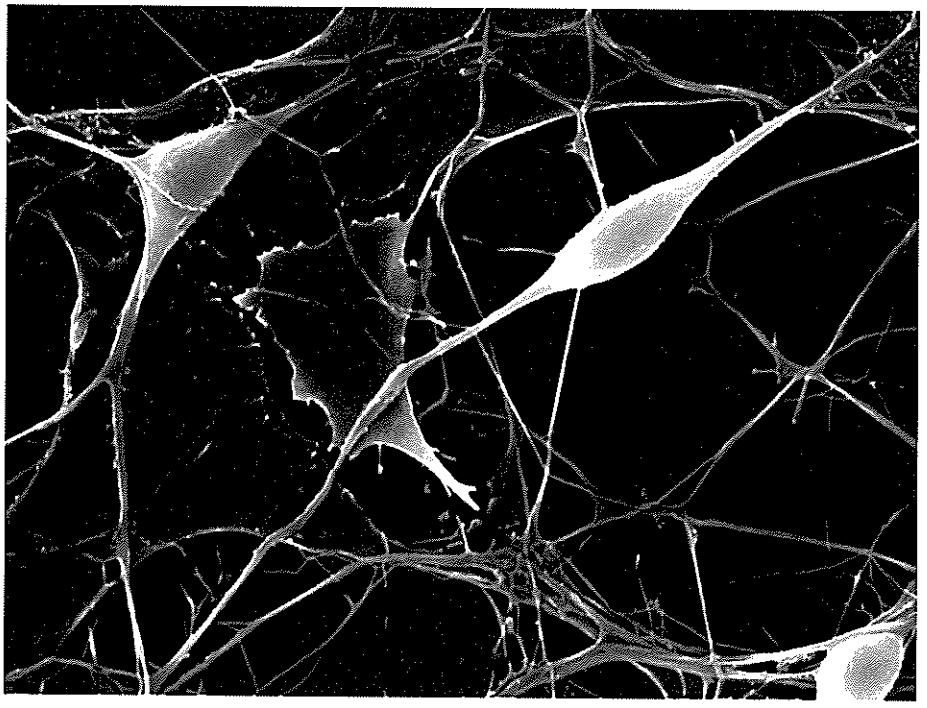
145. Kimyasal tepkimelerde entalpinin kullanımını gösteren bir kavram haritası oluşturunuz.

146. Termodinamikte yola-bağlı ve yoldan-bağımsız büyüklükleri gösteren bir kavram haritası oluşturunuz.

8 Atomun Elektron Yapısı

İÇİNDEKİLER

8-1 Elektromanyetik Işıma
8-2 Atom Spektrumları
8-3 Kuantum Kuramı
8-4 Bohr Atom Modeli
8-5 Yeni Bir Kuantum Mekaniğine Yolaçan İki Kavram
8-6 Dalga Mekaniği
8-7 Kuantum Sayıları ve Elektron Orbitalleri
8-8 Hidrojen Atomunda Orbitellerin Yorumu ve Gösterimi
8-9 Elektron Spini: Dördüncü Kuantum Sayısı
8-10 Çok Elektronlu Atomlar
8-11 Elektron Dağılımı
8-12 Elektron Dağılımları ve Periyodik Çizelge



Elektron mikroskobu ile alınan bu üç nöron görüntüsü (gri alanlar), bu bölümde anlatılan elektronların dalga özelliklerine dayanır.

Ondokuzuncu yüzyıl sonlarında bilim dünyasındaki bazı gözlemciler, fizik alanında araştırılmamış konuların tükenmek üzere olduğuna inanıyorlardı. Onlara göre, geriye sadece fizik alanında(klasik fizik) son iki üç yüzyılda elde edilen bilgi birikiminin biyoloji ve kimya gibi alanlara uygulanması kalıyordu.

Geriye sadece çözümlenmesi gereken, fotoelektrik olayı ve ışık yayılımı dahil, bir kaç temel sorun kalmıştı. Fakat bu sorunların çözümü, beklendiği gibi fiziği sonlandırmak yerine, bu bilim alanında yeni bir altın çağ başlatmıştır. Bu sorunlar, olağandışı yaklaşımların ilk bilimsel adımı sayılabilecek, yeni ve cesur bir yaklaşım olan "kuantum kuramı" ile çözülmüştür. Bu bölümde klasik fiziğin yetersiz kaldığı, ancak kuantum kuramı ile açıklanabilen, atom ve molekül düzeyindeki olguları inceleyeceğiz.

Kuantum mekaniğini, elektronların kuantum sayıları ve elektron orbitalleri kavramlarını kullanarak ele alacağız. Burada geliştireceğimiz atom modeli, daha sonraki bölümlerde incelenen pek çok konuyu açıklamakta yardımcı olacaktır. Bu konulara elementlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki periyodik eğilimler, kimyasal bağlanma ve moleküller arası kuvvetler örnek verilebilir.

8-1 Elektromanyetik Işıma

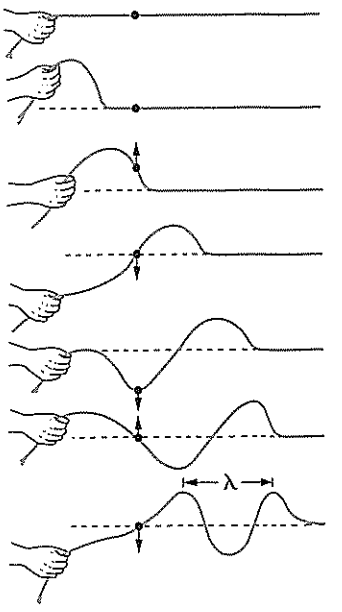
Bu bölümde temel konumuz, atomlardaki elektron dağılımlarıdır. Elektromanyetik ışıma ile maddenin etkileşimini inceleyerek, atomlardaki elektronlar hakkında bilgi edinebiliriz. Elektromanyetik ışıma hakkındaki temel bilgileri bu kesimde verip, sonraki kesimlerde elektromanyetik ışıma ile atom yapısı arasındaki ilişkileri ele alacağız. Belki de en iyisi, konuya iki aşamada yaklaşmaktır. Bölüm içerisinde verilmiş çok sayıda örnek arasında özellikle atomun yapısı ile ilgili olan temel yaklaşımlara dikkat ediniz. Ayrıca Kesim 8-6, 8-8 ve 8-10 da ve bazı "Merak Ediyorsanız..." konularında açıklanan ayrıntıları atlamayınız.

◀ Su dalgaları, ses dalgaları ve yer hareketlerinden oluşan sismik dalgalar elektromanyetik ışımadan farklıdır. Bunların iletilmesi için bir madde ortamı gerekir.

Elektromanyetik ışıma elektrik ve manyetik alanların dalgalar şeklinde yayıldığı bir ortam (örneğin cam) ya da boşlukta taşınan bir enerji şeklidir. **Dalga** herhangi bir ortamda veya uzayda enerji taşıyan bir uyarıcıdır. Geniş bir su yüzeyindeki küçük bir kayıkta oturan bir kişi, bir dalga hareketini fark etmekte oldukça tecrübelidir. Su yüzeyine dik olarak hareket eden dalgalar kayığı periyodik olarak yukarı aşağı hareket ettirir. Su dalgaları çok bilinmekle birlikte, dalgalar hakkındaki temel terimleri ve bazı önemli kavramları açıklayabilmek için daha basit bir dalga hareketini, örneğin, bir ipte hareket eden dalgayı ele alalım.

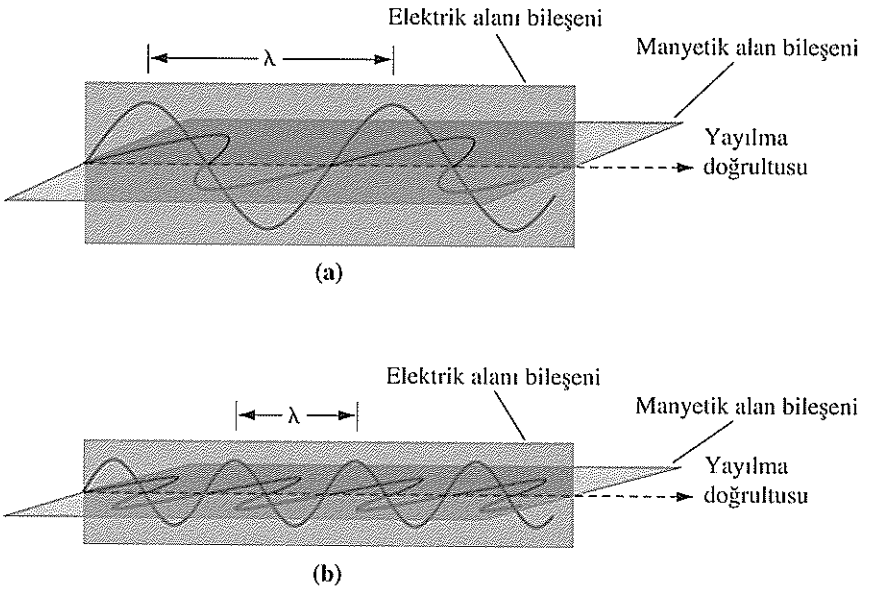
Uzun bir ipin bir ucunun direğe bağlı, diğer ucunun elinizde olduğunu düşününüz (Şekil 8-1). İpin küçük bir kısmını kırmızı mürekkep ile işaretlemiş olduğunuzu varsayın. Elinizi yukarı aşağı hareket ettirdiğinizde, ipte bir dalga hareketi oluşacaktır. Dalga ip boyunca yürürken boyalı kısım basitçe yukarı aşağı hareket eder. Orta çizgi esas alındığında (Şekil 8-1 de kesikli çizgi) dalga; orta çizginin üstünde en yüksek noktalar ya da *tepeler* ile orta çizginin altında en alçak noktalar ya da *çanaklar*dan oluşur. Dalganın orta çizginin üstündeki maksimum yüksekliğine **genlik** denir. Birbirini izleyen iki tepenin en üst noktaları (ya da iki çanağın en alt noktaları) arasındaki uzaklığa **dalgaboyu** denir ve Yunan alfabesindeki lamda (λ) ile gösterilir.

Dalgaboyu, dalganın önemli bir niteliğidir. Bir diğer niteliği, belirli bir noktadan birim zamanda geçen tepe veya çanak sayısı olarak verilen ve nü (ν) ile gösterilen **frekans**tır. Frekansın birimi zaman^{-1} veya genellikle saniye^{-1} (s^{-1}) olup, saniyedeki çevrim sayısı olarak tanımlanır. Bir dalganın frekansı (ν) ile dalga boyunun (λ) çarpımı, dalganın birim zamanında aldığı yolu gösterir. Bu değere dalganın hızı denir. Buna göre Şekil 8-1 de dalgaboyu 0,5 m ve frekans 3 s^{-1} (yani el, saniyede üç kez yukarı aşağı hareket etmekte) ise, dalganın hızı 0,5 m $\times$ $3s^{-1}$ = 1,5 m/s dir.



▲ ŞEKİL 8-1
En basit dalga hareketi-bir ipte yürüyen dalga
Yukarı ve aşağı el hareketinin sonucu olarak, dalgalar ip boyunca soldan sağa doğru göçerler. Bu tek yönlü hareket eden dalga, yürüyen dalga olarak adlandırılır. Dalgaboyu, bir dalgada birbirini izleyen iki tepecik arasındaki uzaklık olup λ ile belirlenir.

Gerçekte elektromanyetik dalgayı, bir ipte hareket eden dalgayı gördüğümüz gibi göremeyiz; fakat biz Şekil 8-2 deki gibi göstermeye çalışacağız. Şekilde görüldüğü gibi, manyetik alanla ilgili ışıma bileşeni, elektrik alanı bileşeninin bulunduğu düzleme dik bir düzlemde yayılır. Elektriksel alan elektrikle yüklü bir taneciğin çevresindeki bölgedir. Elektriksel alanın varlığı, elektrik yüklü bir nesne elektrik alanına sokulurken oluşan karşı koyma kuvvetinin algılanması ile anlaşılabilir. Manyetik alan bir mıknatısı çevreleyen bölgede bulunur. 1865 yılında James Clerk Maxwell (1831-1879) tarafından ortaya konulan kurama göre, elektromanyetik ışıma (elektrik ve manyetik alanlarının bir yayınımı) hızlanan elektrik yüklü bir tanecik (hızı değişen yüklü bir tanecik) tarafından üretilir. Örneğin, radyo dalgaları, özel olarak tasarlanmış elektrik devrelerinde, elektrik akımının salınımı (iniş çıkışı) sonucu meydana gelen bir elektromanyetik ışıma şeklidir. Elektromanyetik ışımanın diğer bir şekli



▲ ŞEKİL 8-2
Elektromanyetik dalgalar
Bu iki farklı elektromanyetik dalga şekli, elektrik ve manyetik alanların birbirine dik olarak yayıldığını göstermektedir. Bilirli bir dalga için, elektrik ve manyetik bileşenlerin frekansı, dalgaboyu ve genliği birbirinin aynısıdır. **(a)** daha uzun dalgaboyu ve daha düşük frekansa **(b)** daha kısa dalgaboyu ve daha yüksek frekansa sahiptir.

olan görünür ışıkta, uyarıcı tanecikler atom ya da moleküllerin elektronlarıdır.

Frekans, Dalgaboyu ve Elektromanyetik Işımanın Hızı

▶ Elektromanyetik dalgalar *enlemsel* dalgalardır (elektrik ve manyetik alanlar, algılanan harekete *diktir*). Buna ilk yaklaşım su dalgalarıdır. Bunun aksine ses dalgaları *boylamsaldır*. Bu, sesin yol aldığı yönde hareket eden küçük bir kuvvete ait titreşimin bir sonucudur.

SI biriminde frekans birimi s^{-1} **hertz (Hz)**, dalgaboyu metre (m) dir. Bununla birlikte, çoğu elektromanyetik ışıma çok kısa dalgaboyuna sahiptir ve bunlar için aşağıdaki listede yer alan daha küçük birimler kullanılır. İsveçli fizikçi Anders Ångström'un (1814- 1874) adından gelen angstrom bir SI birimi değildir.

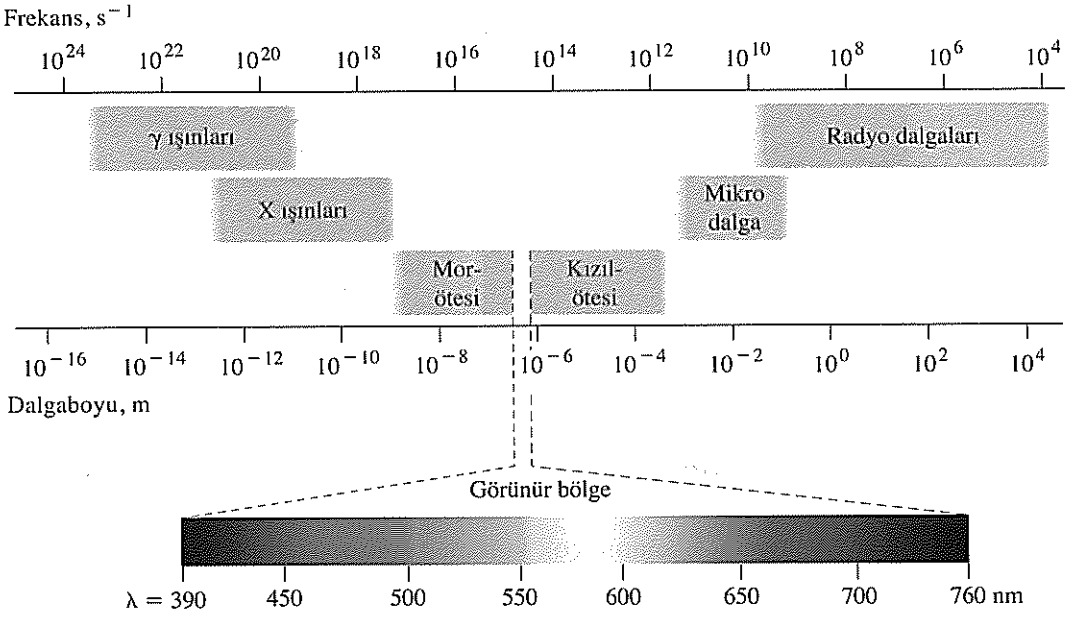
1 santimetre (cm) = 1×10^{-2} m
1 milimetre (mm) = 1×10^{-3} m
1 mikrometre (μm) = 1×10^{-6} m
1 nanometre (nm) = 1×10^{-9} m = 1×10^{-7} cm = 10 Å
1 pikometre (pm) = 1×10^{-12} m = 1×10^{-10} cm = 10^{-2} Å
1 angstrom (Å) = 1×10^{-10} m = 1×10^{-8} cm = 100 pm

▶ Işık hızı genellikle $3{,}00 \times 10^{8}$ m s^{-1} e yuvarlanır.

Elektromanyetik ışımanın belirgin özelliği, vakumda $2{,}997925 \times 10^{8}$ m s^{-1} lik *sabit* bir hızla yayılmasıdır. Bu değere **ışık hızı** denir ve *c* harfi ile simgelenir. Elektromanyatik ışımanın ışık hızı, dalgaboyu ve frekansı arasındaki bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$c = \nu \times \lambda \qquad (8.1)$$

Şekil 8-3 te bazı çok bilinen elektromanyetik ışımaların frekansları ve olası dalgaboyu aralıkları görülmektedir. Şekilde elektromanyetik ışımanın dalgaboyunun yüksek frekanslarda daha kısa, düşük frekanslarda daha uzun olduğu gerçeği de vurgulanmaktadır. Örnek 8-1 de, (8.1) eşitliğinin bir uygulaması gösterilmiştir.



▲ ŞEKİL 8-3
Elektromanyetik Spektrum
Görünür bölge, en kısa dalgaboylu mor renkten en uzun dalgaboylu kırmızı renge kadar uzanan, tüm spektrumun yalnızca küçük bir kısmını kapsar. Elektromanyetik ışımanın diğer şekillerinden bazılarının yaklaşık dalgaboyu ve frekans aralıkları da şekilde gösterilmiştir.

ÖRNEK 8-1 Elektromanyetik Işımanın Dalgaboyu ve Frekansını İlişkilendirme

Bir sodyum buharı lambasından yayılan ışığın büyük bir bölümü 589 nm dalgaboyuna sahiptir. Bu ışığın frekansı nedir?

Analiz

Işığın hızı m s^{-1} olduğu için, önce ışığın dalgaboyunu nanometreden metreye dönüştürür ve sonra (8.1) eşitliğini uygularız. ν yi bulmak için formülü, $\nu = c/\lambda$ şeklinde ifade edebiliriz.

Çözüm

λ nın birimini nanometreden metreye dönüştürelim.

$$\lambda = 589\,\text{nm} \times \frac{1 \times 10^{-9}\,\text{m}}{1\,\text{nm}} = 5{,}89 \times 10^{-7}\,\text{m}$$

$$c = 2{,}998 \times 10^{8}\,\text{m s}^{-1}$$

$$\nu = ?$$

(8.1) eşitliğini $\nu = c/\lambda$ şeklinde yazarak ν yü hesaplayalım

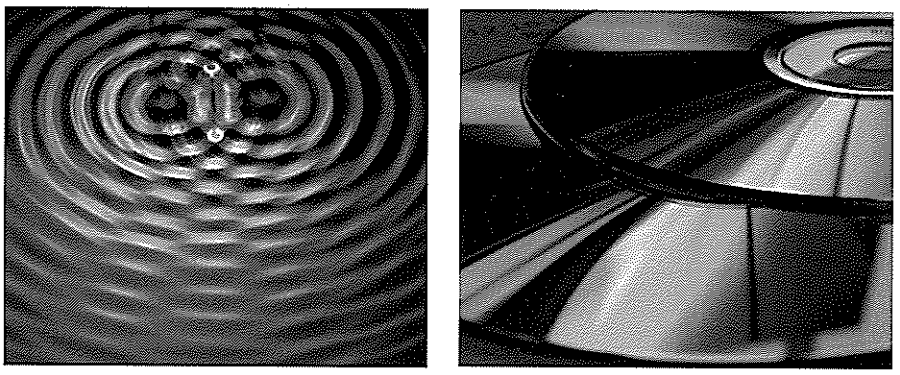
$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{2{,}998 \times 10^{8}\,\text{m s}^{-1}}{5{,}89 \times 10^{-7}\,\text{m}} = 5{,}09 \times 10^{14}\,\text{s}^{-1} = 5{,}09 \times 10^{14}\,\text{Hz}$$

Değerlendirme

Burada en önemli nokta λ nın birimini doğru kullanmaktır. Bu tür hesaplamalarda dalgaboyunun frekansa ya da frekansın dalgaboyuna dönüştürülmesine sıklıkta ihtiyaç duyarız.

ALIŞTIRMA A: Kırmızı LED den (ışık yayan diodlar) yayılan ışık, çoğu elektronik alette yaygın olarak görülür. Tipik bir LED, 690 nm dalgaboyunda ışık üretir. Bu ışığın frekansı nedir?

ALIŞTIRMA B: Bir FM radyo istasyonu 91,5 megahertz (MHz) frekansta yayın yapmaktadır. Bu radyo dalgalarının dalgaboyu kaç metredir?



(a) (b)

▶ ŞEKİL 8-4
Girişim örnekleri
(a) Taşlar ve dalgacıklar.
(b) CD den yansıma.

Elektromanyetik Dalgaların Önemli Bir Özelliği

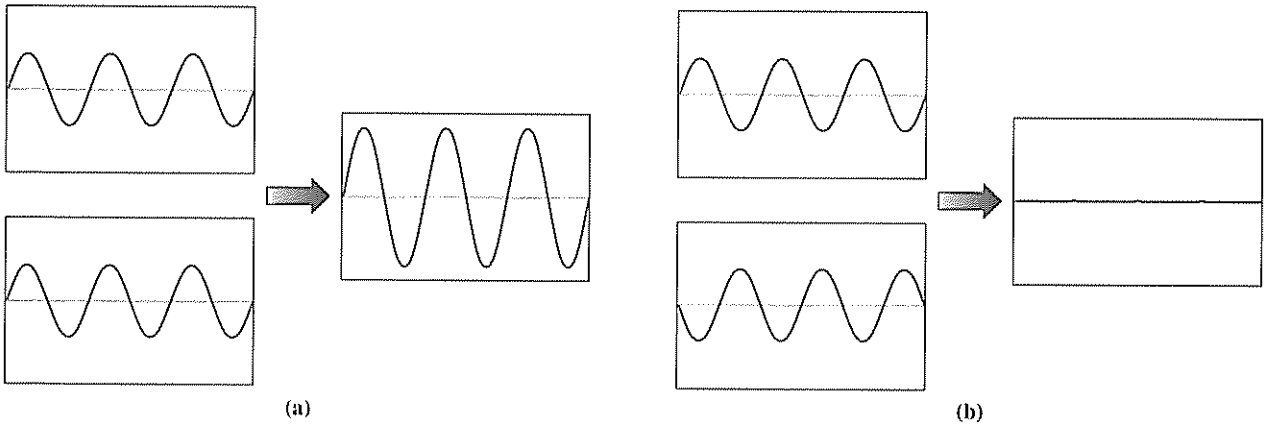
Elektromanyetik ışımanın çok kullanacağımız özelliklerinden olan genlik, dalgaboyu, frekans ve hızdan yukarıda söz etmiştik. Bu bölümde ışımanın, daha sonra atomun yapısını incelerken bize yardımcı olacak temel bir özelliğini daha göreceğiz.

▶ *Işığın dalga yapısı*, kırınım ve kırılma sonucu dağılma özelliği ile ispatlanır.

Eğer iki çakıl taşını aynı anda ve birbirine yakın olarak bir göle atarsak, iki taşın suya çarptığı noktalardan çıkan dalgalar görürüz. İki dalga grubu birbiri ile kesişir ve Şekil 8-4a da görüldüğü gibi, dalgaların devam ettiği ve yok olduğu yerler belirerek engebeli desenler ortaya çıkar. Her iki dalga tepeleri ve çanakları birbirine denk gelecek şekilde karşılaştığında, suda en yüksek tepeleri ve en derin çukurları oluşturarak birleşirler. Bu durumda dalgalar *aynı fazdadır* ve dalgaların toplamı *şiddetlendirici girişim* olarak adlandırılır (Şekil 8-5a). Eğer iki dalga, bir dalganın tepesi diğerinin çanağına denk gelecek şekilde birleşirse, dalgalar söner ve su yüzeyi durgun olur (Şekil 8-5b). Bu durumda dalgalar *aynı fazda değildir* ve dalgaların sönmesi *yok edici girişim* olarak adlandırılır.

UNUTMAYINIZ
Dalgalar arasında yarım dalgaboyu faz farkı varsa, yokedici girişim oluşur. Eğer dalgalar bundan daha çok ya da daha az faz farkına sahipse (ancak tam faz farkı yoksa), yalnızca kısmi bir yokedici girişim meydana gelir.

Kompakt disk üzerinde görülen gökkuşağı renkleri, elektromanyetik dalgaların girişimine günlük yaşamdan bir örnek olarak verilebilir (Şekil 8-4b). Beyaz ışık, örneğin, güneş ışığı, gökkuşağının bütün renklerini içerir. Bu renklerin dalga boyları (ve frekansları) farklıdır. Bu farklı dalgaboyuna sahip bileşenler, CD üzerinde sık dizilmiş yivler tarafından yansıtıl-



(a) (b)

▲ ŞEKİL 8-5
Birbiri üzerine binen iki ışık dalgasında girişim
(a) Şiddetlendirici girişimde, her iki dalganın tepeleri ve çanakları birbiri ile çakışmıştır (aynı fazda) ve bunun sonucu iki dalganın tepe ve çanakları da birbirine eklenmiştir. **(b)** Yokedici girişimde iki dalganın tepe ve çanakları birbiriyle çakışmaz (aynı fazda değil) ve dalgalar söner.

8-1 MERAK EDİYORSANIZ...

Girişim meydana geldiğinde elektromanyetik dalganın enerjisine ne olur?

Şekil 8-2 de belirttiğimiz gibi, dalga elektrik *(E)* ve manyetik *(B)* alanların salınımından oluşur. *E* ve *B* nin büyüklüğü sürekli olarak pozitif ve negatif değerler arasında salınım yapar. Bu salınım yapan alanlar, titreşen bir elektromanyetik kuvvet ile etkileşime girdiğinde, sürekli olarak değişen bir hızla, ileri geri hareket eder. Değişen hız, taneciğe hızın karesi ile orantılı olarak değişen kinetik enerji kazandırır (yani $e_k = \frac{1}{2}mu^2$). Bir dalganın enerjisi yalın olarak *E* ve *B* değerlerine değil, bunların kareleri toplamına, yani $E^2 + B^2$ ye bağlıdır. Enerji aynı zamanda dalganın *şiddetine (I)* bağlıdır. Şiddet ise dalganın genliğinin *karesine* bağlı bir değerdir.

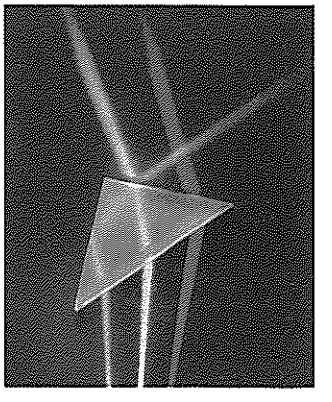
Örnek olarak genlikleri 1 olan iki dalga düşünelim. Dalgalar aynı fazda olsun veya olmasın, her bir dalganın enerjisi $1^2+1^2=2$ ile orantılıdır. Dalga çiftinin ortalama enerjisi de gene 2 ile orantılıdır [yani, (2+2) /2]. Şiddetlendirici girişimde genlik 2 olacağından, enerji 4 ile orantılı olacaktır. Yok edici girişimde ise genlik sıfır olacağından, enerji sıfırdır. Bununla birlikte iki halin enerji *ortalamasının* gene 2 olduğunu vurgulamak gerekir [yani, *(4+0)/2]*. Böylece enerjinin korunumu kuralı geçerliliğini sürdürmüştür.

dıklarında, çok az farklı uzaklıklarda hareket ederler. Bu hareketin sonucu olarak, ışık kaynağından gelen ışınların CD yüzeyi ile yaptığı açıya bağlı olarak faz farkları oluşur. Işın demetindeki ışık dalgaları birbiri ile girişim yapar ve gelen ışık ile yansıyan ışık arasındaki açıya bağlı olarak, gördüğümüz renk dışındaki tüm renkler yok olur. Böylece ışık kaynağından gelen ışınların CD yüzeyi ile yaptığı açı değiştikçe farklı renkler ortaya çıkar. Bir ışın demetinin, yivli bir yüzeyden yansımasıyla oluşan girişimden kaynaklanan, farklı dalgaboyundaki bileşenlerinin saçılımına ışığın **kırınımı** (difraksiyon) denir.

Kırınım, yalnızca dalgaların bir özelliği olarak açıklanabilen bir olaydır. Girişim ve kırınımın matematiği ve fiziksel görünümü, su dalgaları ve elektromanyetik dalgalarda birbirinin aynıdır.

Görünür Bölge Spektrumu

Işığın herhangi bir ortamdaki hızı vakumdaki hızından daha düşüktür. Bununla birlikte, hızın büyüklüğü, değişik ortamlarda farklılıklar gösterir. Bunun sonucu olarak, ışık bir ortamdan diğer bir ortama geçerken kırılır ya da bükülür (Şekil 8-6). Bundan başka, elektromanyetik dalgalar vakumda aynı hıza sahip olmalarına karşın, farklı dalgaboyundaki dalgalar, hava ya da başka bir ortamda, az da olsa, farklı hızda hareket ederler. Bu nedenle beyaz ışık ışınları saydam bir ortamdan geçirildiğinde, farklı dalgaboyuna sahip bileşenleri farklı şekilde kırılırlar. Bunun sonunda ışık farklı renklerden oluşan bir *band spektrumu* şeklini alır. Şekil 8-7a da beyaz ışık (örneğin güneş ışığı) ışını bir cam prizmadan geçtiğinde, kırmızıdan mora kadar, tüm dalgaboyu bileşenlerinin karşılığı olan renkleri içeren sürekli bir band halinde dağılır. Bu, 8-3 de ve gökkuşağında görülen, görünür bölge spektrumudur. Gökkuşağında güneş ışığını görünür bölgede dağıtan ortam, atmosferdeki su damlacıklarıdır (Şekil 8-7b).

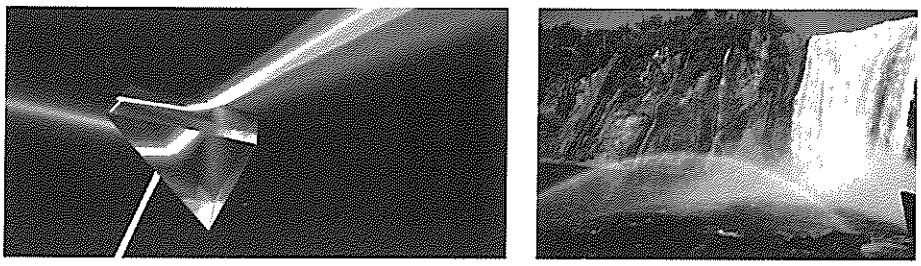


▲ ŞEKİL 8-6
Işığın kırılması
Işık havadan cam prizmaya geçerken ve tekrar prizmadan çıkarken kırılır (bükülür). Bu fotoğrafta mavi ışığın en çok, kırmızı ışığın ise en az kırıldığı görülmektedir. Mavi ışık prizmaya öyle bir açıda çarpmaktadır ki, ışınlar prizmadan çıkmadan önce bir iç yansımaya uğramaktadır.

8-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Kırmızı lazer ışığı, frekans çoğaltıcı olarak bilinen bir cihazdan geçirilerek, frekansı iki katına çıkarılıyor. Frekans çoğaltıcıdan çıkan ışığın yaklaşık olarak hangi renkte olmasını beklersiniz? Asıl ışığın dalgaboyu ile frekansı ikiye katlanmış ışığın dalgaboyu arasında nasıl bir ilişki vardır?

▶ *Işığın kimya için önemi şudur*: Işık bir enerji biçimidir ve ışık-madde etkileşimi sonucu atom ve moleküllerin enerjisinde değişim olduğunu farkedebiliriz. Bir sistemin enerjisini takip etmenin diğer bir yolu ısı alış-verişini doğrudan gözlemektir. Işık daha kolay kontrol edilebildiği için, ışık bize ısı ölçümünden daha kapsamlı bilgi verir.



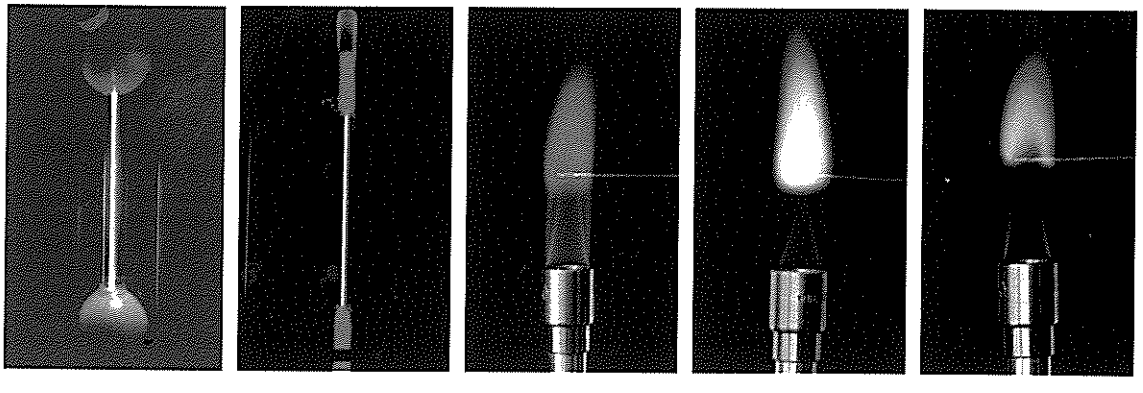
(a) (b)

▲ ŞEKİL 8-7
"Beyaz" ışığın spektrumu
(a) Işığın bir prizmadan dağılımı. Beyaz ışık bir cam prizmadan geçirildiğinde, kırmızı ışık en az, mor ışık en çok kırılır. Görünür bölge spektrumunun diğer renkleri kırmızı ile mor arasında bulunur. **(b)** Bir şelalenin önündeki gök kuşağı. Burada su damlacıkları dağıtıcı ortamdır.

8-2 Atom Spektrumları

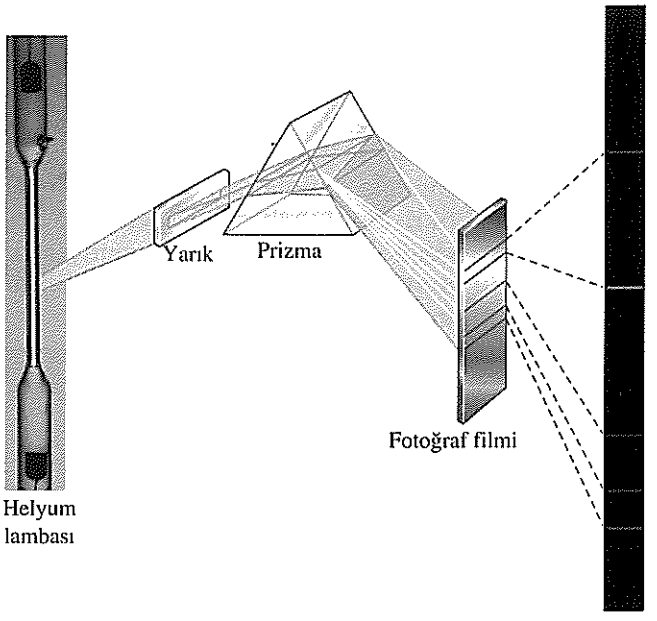
Kırınıma uğrayan ışık çok sayıda dalgaboyu bileşeninden oluştuğu için, Şekil 8-7 deki görünür bölge spekturumu *sürekli spektrum* olarak tanımlanır. Eğer spektrumu meydana getiren ışık kaynağı çok az sayıda dalgaboyu bileşeni içerirse *kesikli spektrum* gözlenir. Örneğin, ışık kaynağı bir gaz içerisinden geçen elektrik boşaltım lambası ise, Şekil 8-8a ve b de görüldüğü gibi, spektrumda yalnızca belirli renkler gözlenebilir. Ya da ışık kaynağı, içerisinde bir iyonik bileşik bulunan gaz alevi ise, alev ortamdaki metal iyonuna özgü bir renge boyanır (Şekil 8-8 c–e). Bu durumlarda spektrumlar sınırlı sayıda kesikli dalgaboyu bileşenlerinden oluşur ve aralarında karanlık boşluklar bulunan renkli çizgiler gözlenir. Bu kesintili spektrumlar **atom** ya da **çizgi spektrumları** diye adlandırılırlar.

Helyumun çizgi spektrumu Şekil 8-9 da gösterilmiştir. Işık kaynağı düşük basınçta helyum gazı içeren bir lambadır. Bir elektrik boşaltımı lambadan geçirildiğinde helyum atomları enerji soğururlar ve sonra bu enerjiyi ışık şeklinde yayarlar. Bu ışık dar bir yarıktan geçirildikten sonra bir prizmada dağıtılır. Prizmadan çıkan ışığın renkli bileşenleri bir fotoğraf filmi üzerinde kaydedilir. Her bir dalgaboyu bileşeni, yarığın bir görüntüsü gibi, ince bir çizgi şeklinde ortaya çıkar. Helyum spektrumunda çıplak gözle görülebilen tamı tamına beş çizgi vardır. Her ele-



(a) (b) (c) (d) (e)

▲ ŞEKİL 8-8
Işık yayınlayan kaynaklar
(a) hidrojen gazı ve **(b)** neon gazı arasından bir elektrik boşaltımı sonucu yayınlanan ışık. **(c)** lityum, **(d)** sodyum ve **(e)** potasyum alkali metal bileşiklerinin gaz alevinde uyarılması sonucu yayınlanan ışık.



◀ ŞEKİL 8-9
Helyumun atom ya da çizgi spektrumları
Spektrum çizgilerin fotoğraflandığı, şekilde görülen düzeneğe, *spektrograf* adı verilir. Eğer gözlem sadece çıplak gözle yapılırsa düzenek, *spektroskop* adını alır. Eğer çizgilerin konumu ve parlaklığı ölçülür ve kaydedilirse, bu kez düzenek için *spektrometre* adı kullanılır.

ment, bir çeşit atomik parmak izi olarak tanımlanabilecek, kendine özgü bir çizgi spektrumuna sahiptir.

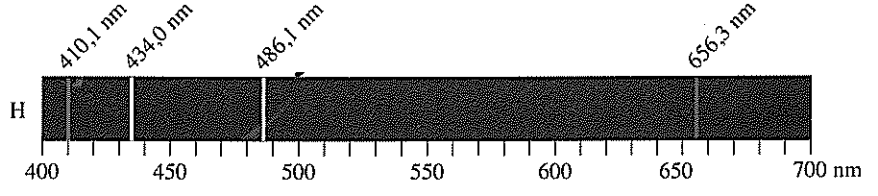
İlk spektroskopu geliştirenler ve elementlerin tanınmasında kullananlar Robert Bunsen (1811-1899) ve Gustav Kirchhof'tur (1824-1887). Bu araştırmacılar 1860 yılında yeni bir element keşfettiler ve bu elemente, spektrumundaki özel mavi çizgiler nedeni ile sezyum (Latince *Caesius*, gök mavisi) adını verdiler. Aynı kişiler 1861 yılında benzer bir yolla rubidyumu (Latince *rubidius*, koyu kırmızı) buldular. Kendine özgü spektrum yardımı ile bulunan diğer bir element ise helyumdur (Yunanca *helios*, güneş). Helyumun spektrumu 1868 deki güneş tutulması sırasında gözlenmiş, ancak bu elementin yeryüzünde elde edilmesi bundan 27 yıl sonra gerçekleşmiştir.

◀ Bunsen kendi spektroskopik çalışmaları için özel bir gaz beki geliştirmiştir. Bu bek, laboratuvarlarda kullanılan Bunsen bekidir ve maddelerin verdiği spektrum ışımaları ile girişim yapacak çok az zemin ışıması verir.

Atom spektrumları arasında en çok incelenen spektrum hidrojenin spektrumu olmuştur. Bir hidrojen lambasından gelen ışık kırmızımsı-mor renkte görünür (Şekil 8-8a). Bu ışığın başlıca dalgaboyu bileşeni 656,3 nm dalgaboyundaki kırmızı ışıktır. Bununla birlikte, hidrojen atomunun görünür spektrumunda 486,1 nm de yeşilimsi mavi, 434,0 nm de menekşe ve 410,1 nm de başka bir menekşe çizgi olmak üzere, üç başka çizgi daha görülür. Hidrojenin görünür bölge atom spektrumu Şekil 8-10'da verilmiştir. 1885 de Johann Balmer bu spektrum çizgileri için, sınama yanılma yöntemini kullanarak, bir formül çıkarmıştır. Balmer eşitliği frekansa dayalı olarak aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$\nu = 3.2881 \times 10^{15}\,\mathrm{s}^{-1}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (8.2)$$

Bu eşitlikteki n, *ikiden büyük bir tamsayı*, ν ise spektrum çizgisinin frekansıdır. Eğer denklemde n yerine 3 konursa, kırmızı çizginin frekansı elde edi-



▲ ŞEKİL 8-10
Hidrojen atomlarının Balmer serileri — çizgi spektrumu
Şekilde gösterilen dört çizgi çıplak gözle görülebilir. Bunlara ek olarak, morötesi (UV) bölgede birbirine çok yakın çizgiler bulunur.



▲ Erimiş demirden ışık yayılması.

lir. $n = 4$ alındığında ise yeşilimsi–mavi çizginin frekansı bulunur. Diğer çizgilerin frekansları da benzer biçimde hesaplanır.

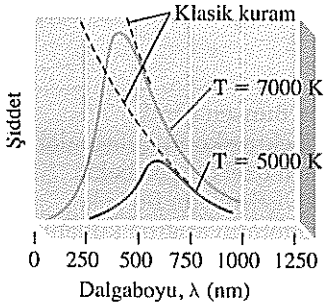
Atom spektrumları, dalgaboyu kesin olarak bilinen belirli sayıda çizgilerden oluştuğu için, atomların yapıları hakkında bilgi edinilmesinde büyük yarar sağlar. Örneğin, gaz halindeki atomları uyarabilecek sınırlı sayıda enerji düzeyi bulunabileceği fikri, atom spektrumu sayesinde akla gelmiştir. On dokuzuncu yüzyılda klasik fizik, atom spektrumunu açıklayabilmek için yeterli değildi. Bu bulmacanın anahtarı modern bilimin büyük keşiflerinden biri olan kuantum kuramıdır.

8-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bilim adamları, Schumacher-Levy kuyruklu yıldızının Jüpiter yüzeyine çarpmasını spektrografi ile izlediler. Bu gözlemle bilim adamları neyi keşfetmeyi amaçlıyorlardı?

8-3 Kuantum Kuramı

Sıcak cisimlerin farklı renkte ışık yaydıklarını hepimiz biliriz. Yayılan ışığın rengi, bir elektrik sobasının tellerindeki donuk kırmızı renkten, bir elektrik ampulünün flamanındaki beyaz renge kadar değişir. Işıyan sıcak cisimden yayılan ışık, bir prizmada dağıtılarak sürekli bir renk spektrumu oluşturulabilir. Şekil 8-11 de görüldüğü gibi ışık şiddeti, dalgaboyu ile düzenli bir şekilde değişir ve ışık kaynağının sıcaklığına bağlı olarak; belirli bir dalgaboyunda maksimuma erişir. Klasik fizik atom spektrumlarında olduğu gibi *siyah cisim ışıması* olarak bilinen, sıcak katı maddelerin ışık yayabilmesini de açıklayamamaktadır. Klasik kuramın yaklaşımına göre, yayınlanan ışığın şiddeti, Şekil 8-11 de kesikli çizgi ile gösterildiği gibi, sürekli artar. 1900 yılında Max Planck (1858–1947) ışık şiddetinin neden sürekli olarak artmadığını açıklayan, devrim niteliğinde bir sav ileri sürdü: *Enerji de madde gibi sürekli değildir*. Planck tarafından ortaya konan yeni kuantum kuramı ile onun zamanındaki klasik fizik arasındaki temel fark: Klasik fizik bir sistemin sahip olabileceği enerji miktarı için bir sınırlama getirmezken, kuantum kuramı bu enerjiyi belirli değerlerdeki özel paketler şeklinde sınırlamıştır. Bir sistemin izin verilen iki enerji düzeyi arasındaki *fark* belirli bir değere sahiptir ve bu fark, enerji **kuantumu** olarak adlandırılır. Yani enerji izin verilen bir değerden diğerine küçük bir sıçrama ya da kuantum ile geçer. Enerji kuantumunu kolay anlayabilmek için; bir sistemin toplam enerjisi içerisinde bir kuantumun durumunu, bir madde içerisindeki tek bir atomun durumu gibi düşünebilirsiniz.



▲ ŞEKİL 8-11
Isıtılmış bir cisim tarafından yayınlanan ışımanın spektrumu
Akkor sıcaklığa ısıtılmış bir cisim görünür bölgenin tüm dalgaboylarında dikkate değer şiddete sahip bir spektruma sahipken, kızıl dereceye ısıtılmış bir cisim 675 nm de pik veren bir spektruma sahiptir. Güneşin siyah cisim ışıma sıcaklığı yaklaşık 5750 K dir. Cisimler yalnızca yüksek sıcaklıklarda değil, her sıcaklıkta ışıma yaparlar. Örneğin, cisimler tarafından yayınlanan kızılötesi ışıma, onların karanlıkta, gece görüş gözlüğü ile görülebilmesini sağlar.

Elektromanyetik ışımanın yayılmasını açıklamak üzere Planck tarafından önerilen modele göre; ısıtılan cismin yüzeyindeki bir grup atom aynı frekansta titreşim yapar. Plack'ın kabulüne göre, titreşim yapan atom grubu bir tür osilatördür ve aşağıdaki denklemle hesaplanabilecek bir enerjiye sahip olmalıdır.

$$\epsilon = nh\upsilon$$

Bu denklemde; υ enerji, n pozitif bir tamsayı, ν osilatörün frekansı ve h ise deneysel olarak saptanmış bir sabittir. Planck, sıcaklık ile frekans dağılımını araştırmak üzere yaptığı deneylerden elde ettiği verileri ve kendi kuramını kullanarak h sabiti için aşağıdaki değeri bulmuştur. Buradaki h **Planck sabiti** olarak adlandırılır.

$$h = 6{,}62607 \times 10^{-34}\ \text{J s}$$

Planck'ın kabulü daha genel olarak şu şekilde ifade edilebilir: Bir elektromanyetik ışıma kuantumunun enerjisi, ışımanın frekansı ile orantılıdır (frekans yükseldikçe enerji de artar). Bu tanım Planck denklemi olarak adlandırılan aşağıdaki denklemle özetlenebilir.

$$E = h\nu \qquad (8.3)$$

▶ Planck eşitliği, frekans, dalga boyu ve enerji arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılabilir. Bu bilgiye göre, elektromanyetik spektrumdaki ışımaların bağıl enerjileri karşılaştırılabilir.

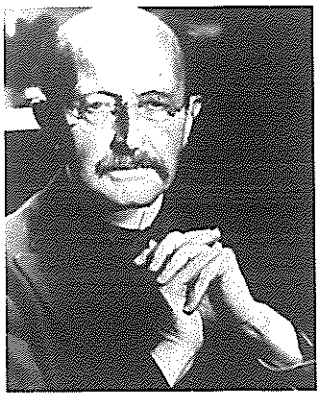
8-2 MERAK EDİYORSANIZ...

Yüksek frekansta siyah cisim ışımasının şiddetindeki düşüş Planck'ın görüşü ile nasıl açıklanabilir?

Planck, James Maxwell ile birlikte molekül hızları dağılımının hesaplanması için bir eşitlik ortaya koyan, Ludwig Boltzmann'ın çalışmalarını izliyordu. Boltzmann, bir molekülün belirli hızda bulunmasının göreceli olasığının onun enerjisine bağlı olduğunu belirtmiş ve bu ilişki için aşağıdaki denklemi öngörmüştür.

$$\text{bağıl olasılık} \quad \propto e^{\left(-\frac{\text{kinetik enerji}}{k_B T}\right)}$$

Bu denklemde k_B Boltzmann sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Şekil 8-11 de görülen ışıma şiddeti ile dalgaboyu arasındaki grafiğin, Şekil 6-15 teki molekül hızları dağılım grafiğine çok benzediğine dikkat ediniz. Planck, siyah cisim ışıması yayınlayarak titreşim yapan maddelerin enerjilerinin, Boltzmann'ın dağılım yasasına göre dağıldığını kabullenmiştir. Yani nvh enerjisine sahip bir osilatörün göreceli olasılığı ile orantılıdır. Burada $n = 1, 2, 3, \ldots$ gibi bir tam sayıdır. Böylece bu ifade yüksek frekansa sahip osilatörün olasılığının daha az olduğunu gösterir. Çünkü ν arttıkça $e^{-nh\nu/k_BT}$ azalır. Işık yayınlanan kaynaktaki osilatörün enerjisi sürekli değerlere sahip olamaz; bu varsayım, kuramsal yaklaşım ile denel verilerin uyum içinde olduğunu gösterir.



▲ Max Planck (1858–1947)

Planck kuantum varsayımını ortaya attığı sırada, bilim insanları ayrı enerji seviyelerinin varlığı ve enerjinin yalnızca belli kuantlar halinde yayılabildiği ya da soğurulabildiği hakkında hiçbir fikirleri yoktu. Onların deneyimleri, bir sistemin enerjisi üzerine teorik bir sınırlamanın olmadığını ve enerji aktarımının sürekli olduğunu gösteriyordu. Nitekim ilk başlarda Planck'ın kendisi de dahil, o zamanın bilim adamları kuantum hipotezine şüphe ile yaklaştılar. Kuantum hipotezi sıcak cisimden yayılan ışımayı açıklayabilmek amacı ile ortaya atılmış, ancak diğer alanlara uygulanması deneninceye kadar, genel bir kavram olarak kabul görmemiştir.

Ancak kuantum varsayımı, siyah cisim ışıması dışındaki olaylara da başarı ile uygulandıktan sonra, çok önemli bir kuram olarak bilim dünyasında yerini almıştır. Kuantum varsayımının ilk başarısı, 1905'de Albert Einstein'ın fotoelektrik olayını bu kuram ile açıklaması olmuştur.

Fotoelektrik Olayı

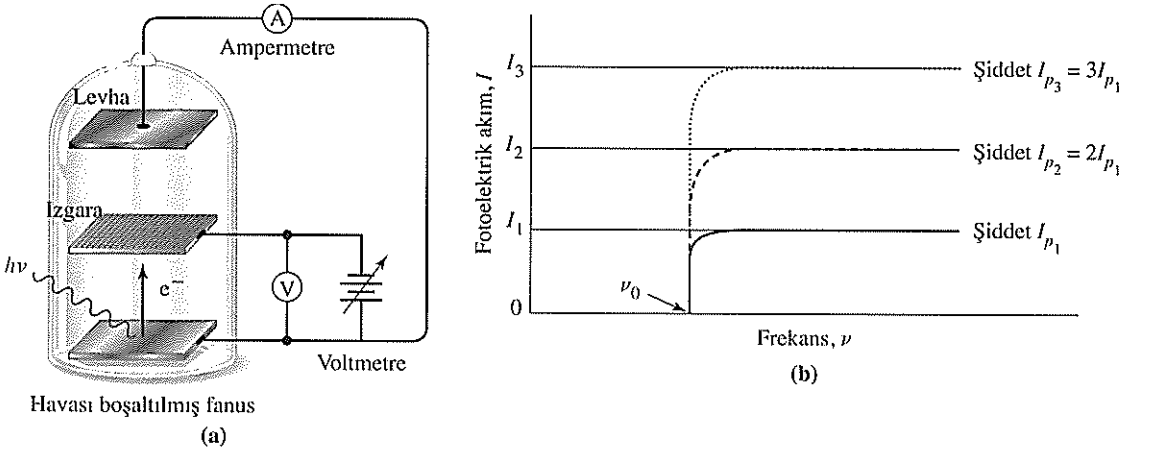
1888 de Heinrich Hertz, bazı metallerin yüzeyine ışık çarptığında metalden elektron boşalımı olduğunu keşfetti. Bu olguya **fotoelektrik olayı** adı verilir ve bunun göze çarpan özelliği, elektron yayılımının, gelen ışının frekansı belirli bir eşik değerini (ν_0) aştığında gerçekleştiğidir. Bu koşullarda;

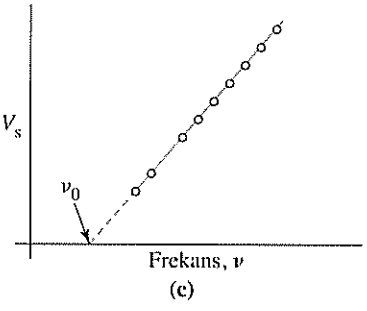
- yayınlanan elektron sayısı gelen ışığın şiddetine bağlı olmasına karşılık,
- yayınlanan elektronların kinetik enerjisi ışığın frekansına bağlıdır.

Bu gözlemler, özellikle de enerjinin frekansa bağlılığı, klasik dalga kuramı ile açıklanamazdı. Oysa Albert Einstein ışımanın tanecik şeklinde yorumlanmasının neler sağlayabileceğini göstermiştir. 1905 yılında Einstein, elektromanyetik ışımanın "tanecik" karakterine sahip olduğunu, daha sonra G. N. Lewis tarafından **foton** adı verilen bu ışık taneciklerinin Planck eşitliği $E = h\nu$ ile hesaplanabilecek özgün bir enerjiye sahip bulunduğunu ileri sürmüştür.

Tanecik modelinde, $h\nu$ enerjisine sahip bir foton, yüzeye bağlı bir elektrona çarptığında, fotonun enerjisi elektron tarafından soğurulur. Eğer $h\nu$ foton enerjisi, elektronun yüzeye bağlanma enerjisinden (*iş fonksi-*

◀ Işık-madde etkileşmesi, *atom veya elektron başına bir foton açığa çıkarır.* Buna göre, bir fotoelektrik yüzeyden elektronun fırlaması için, elektronun tek bir fotonun çarpmasındaki enerjiyi taşıması gerekir. Elektron, birkaç fotonun çarpmasından doğan enerjiyi biriktiremez.





▲ ŞEKİL 8-12
Fotoelektrik olayı
(a) Fotoelektrik olayın ölçülmesinde kullanılan cihazın şematik diyagramı. **(b)** Fotoelektrik akım (I_p) sadece frekans (ν) eşik enerjisinden (ν_0) büyük ise ortaya çıkar. $\nu > \nu_0$ için, akım (I_p) ışığın şiddeti arttıkça artar. **(c)** Gelen ışığın frekansının fonksiyonu olarak, fotoelektronları durdurma gerilimi. Durdurma gerilimine (V_s) karşı gelen ışığın frekansının değişimi çizilmiştir. Metalin eşik frekansı, ν_0 ekstrapolasyonla bulunur.

▶ Lazer olayında bir elektron iki fotonu aynı anda soğurur. İki komşu molekülün bir fotonu soğurması da bilinen örneklerdendir. Ancak bu oluşum genelde görünen bir foton/bir elektron soğurulmasına göre istisnadır.

yonu olarak bilinen değer) daha büyükse, fotoelektron serbest hale geçer. Bu şekilde fotoelektrik olayı oluşturan en düşük ışık frekansına eşik frekansı denir ve iş fonksiyonunun enerji fazlası, yayınlanan fotoelektronlarda kinetik enerji şeklinde ortaya çıkar.

Şekil 8-12 deki deney düzeneğine dayanarak yapılan yorumda, eşik frekansı ve iş fonksiyonunun nasıl değerlendirildiğini; aynı zamanda fotoelektrik olayın Planck sabiti h tan bağımsız olarak geliştiğini göreceğiz.

Şekil 8-12 de ışık ($h\nu$), havası boşaltılmış bir cam fanus içerisindeki metal parçasına düşürülür. Metalden yayılan elektronlar (fotoelektronlar) üstteki plakaya doğru hareket ederler ve üzerinde fotoelektrik akımını ölçen bir ampermetre bulunan düzeneğin elektrik devresini tamamlarlar. Şekil 8-12(b) bir ampermetre ile ölçülen fotoelektrik akımının (I_p), gelen ışığın frekans ve şiddeti ile artışını ifade etmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi, ışığın şiddeti ne kadar artarsa artsın, eğer frekans eşik frekansının (ν_0) altında ise akım geçmez ve fotoelektrik akımı üretilmez. Buna ek olarak, ışık ne kadar zayıf olursa olsun eğer $\nu > \nu_0$ ise fotoelektrik akımı vardır. Şekil 8-12(b) de gösterildiği gibi fotoelektrik akımın büyüklüğü doğrudan ışığın şiddeti ile orantılıdır. Yani, gelen ışığın şiddeti ile fotoelektronların sayısı artar. Bu yüzden, ışık şiddetini, birim zamanda yüzeye ulaşan foton sayısıyla ilişkilendirebiliriz.

Fotoelektronların hızlarını ve böylece kinetik enerjilerini ölçmek amacı ile ikinci bir devre kurulmuştur. Bu devrede, üstteki plakanın altına yerleştirilmiş kafes şeklindeki elektrot ile fotoelektrik metal arasında bir gerilim (voltaj) oluşturulur. Elektrik akımının meydana gelebilmesi için elektronların kafes şeklindeki elektrodun arasından geçerek üst plakaya erişmesi gerekir. Kafes üzerindeki negatif gerilim yaklaşan elektronları yavaşlatır. Kafes ile fotoelektrik metal arasındaki gerilim arttırıldıkça, elektronlar yavaşlar ve belirli bir gerilime erişildiğinde kafes içinde durur ve üst plakaya erişemez; bu durumda ampermetre üzerinden akım geçişi

kesilir. Bu noktadaki gerilime *durdurma gerilimi*, V_s denir. Durdurma gerilimde fotoelektronların kinetik enerjisi aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi potansiyel enerjiye dönüştürülür (bu eşitlikte; m, u ve e sırası ile bir elektronun kütlesi, hızı ve yüküdür).

$$\frac{1}{2}mu^2 = eV_s$$

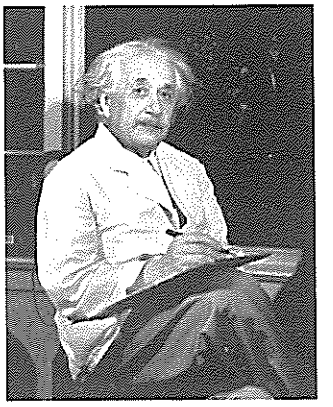
Yukarıda anlatılan deneylerin sonucunda, V_s nin gelen ışığın frekansı ile orantılı olduğu, fakat ışığın şiddetine bağlı olmadığı bulunmuştur. Yine Şekil 8-12 de görüldüğü gibi, eğer frekans, ν, *eşik frekansının*, ν_0, altında ise fotoelektrik akım oluşmaz. ν_0 dan büyük frekanslarda durdurma gerilimi için deneysel eşitlik

$$V_s = k(\upsilon - \upsilon_0)$$

şeklindedir. k sabiti fotoelektrik olayda kullanılan metale bağlı değildir, fakat ν_0 bir metalden diğerine değişir.

Işık şiddeti ile V_s arasında bir ilişki bulunmamakla birlikte, Şekil 8-12b de gösterildiği gibi fotoelektrik akım ışık şiddeti (I_p) ile orantılıdır.

◀ Albert Einstein fotoelektrik olayı üzerine yaptığı çalışmalarla Nobel Ödülüne layık görülmüştür. Ancak, Enstein daha çok, izafiyet kuramı ve $E= mc^2$ eşitliği ile ün yapmıştır.



▲ Albert Einstein (1879–1955)

8-3 MERAK EDİYORSANIZ...

Bir fotonun enerjisi nasıl belirtilebilir?

Einstein tarafından verilen ve bir taneciğin hızı ile kütlesi arasındaki ilişkiyi gösteren önemli bir bağıntı ile yola çıkacağız. Ölçüm düzeneği ve tanecik durağan halde iken, taneciğin kütlesini m_0 olarak alalım. Eğer tanecik bir u hızı ile hareket ettiğinde tekrar ölçüm yapılırsa, kütlesinin aşağıdaki bağıntı uyarınca arttığı görülecektir.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}$$

Bu bağıntıda; m taneciğin hareket halindeki kütlesi olup, *göreceli kütle* olarak adlandırılır, c ise ışık hızıdır. Işık hızının % 90 ından daha küçük bir hızla hareket eden bir taneciğin göreceli kütlesi (m) gerçekte, durgun kütlesi (m_0) ile aynıdır.

Bir taneciğin kinetik enerjisinin aşağıdaki bağıntı ile verildiği daha önce görülmüştü.

$$E_K = \frac{1}{2}mu^2$$

Fotonlar ışık hızında hareket ettiğinden, durgun kütlesi sıfır olmalıdır (aksi halde hareket halindeki kütlesi m, sonsuz olacaktır). Öyleyse fotonların enerjileri nerededir?

Fotonlar, durgun kütlesi sıfır olmakla birlikte, momentuma sahiptirler. Momentum, taneciklerin göreceli kütlesi ile hızlarının çarpılmasından bulunur. Einstein'ın görecelilik kuramı dikkate alınarak, bir taneciğin enerjisi ile momentumu ($p=mu$, bakınız sayfa 217) arasında aşağıdaki bağıntı kurulmuştur.

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$$

Bu bağıntıda m_0 taneciğin durgun kütlesidir. Işık hızı c ye eşit bir hızla hareket eden fotonlar söz konusu olduğunda, durgun kütle sıfırdır. Bu durumda

$$E = pc = h\nu$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

bağıntıları ortaya çıkar. Fotonlar momentuma sahiptir ve bu momentum, çarpışma sırasında elektrona aktarılır. Fotonlar ile elektronlar arasındaki tüm çarpışmalarda momentum korunur. Böylece, dalga ve foton modellerinin birbirine bağlı olduğu görülmektedir. Planck eşitliğine göre bir fotonun enerjisi, dalganın frekansına bağlıdır ve yukarıda belirtildiği gibi fotonun momentumu da dalganın dalgaboyuna bağlıdır! Bir foton elektronla çarpıştığında momentumunu elektrona aktarır ve elektron hızlanır. Fotonun enerjisi azalır ve bunun sonunda dalgaboyu artar. Compton etkisi olarak adlandırılan bu olgu, 1923 yılında keşfedilmiş ve ışığın tanecik karekteri doğrulanmıştır.

İş fonksiyonu işin, dolayısı ile enerji miktarının ölçüsüdür. Bu miktarın hesaplanmasında bir yöntem, Planck sabiti ile eşik frekansının çarpılmasıdır: $E = h\nu_0$. Diğer bir yöntem ise elektron yükü, e ile V_0 geriliminin çarpılmasıdır ve bu yöntem metallerde daha uygundur: $E = eV_0$. Bu durumda fotoelektrik olay için *eşik frekansı*

$$\nu_0 = \frac{eV_0}{h}$$

eşitliği ile verilir. İş fonksiyonu (eV_0) deneyde kullanılan metale özgü olduğundan, ν_0 da, deneysel olarak doğrulandığı gibi, metale özgüdür.

$h\nu$ enerjisine sahip foton bir elektrona çarptığı zaman, elektron eV_0 iş foksiyonunun üzerinde bir enerji kazanır ve $\left(\frac{1}{2}\right) mu^2$ kadar bir kinetik enerji ile serbest hale geçer. Enerjinin korunumu yasasına göre,

$$\frac{1}{2}mu^2 + eV_0 = h\nu$$

azılır ve

$$eV_s = \frac{1}{2}mu^2 = h\nu - eV_0$$

şeklinde bir bağıntı türetilir. Bu bağıntı, $h\nu_0 = eV_0$ olduğunda, $k = h/e$ kullanılarak V_s nin hesaplanması için verilen deneysel eşitlikle denktir. Duyarlı şekilde yapılan deneyler h sabitinin, Planck tarafından, siyah cisim ışıması için hesaplanan değerle aynı olduğunu göstermiştir. Diğer bir gerçek de şudur; ışık şiddetinin artması ile fotoelektron sayıları artar ve bu nedenle, bir noktaya birim zamanda gelen foton sayısı arttıkça ışık şiddetinin artacağı gerçeğinin hesaba katılması gerekir.

8.3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Hidrojen atomundan bir elektronu uzaklaştırmak için gereken ışığın dalgaboyu 91,2 nm dir. Hidrojen atomlarından oluşan bir numune üzerine 80,0 nm büyüklüğünde bir ışık gönderilirse hidrojen gazından elektronlar kopar. Eğer diğer bir deneyde numuneye dalgaboyu 70,0 nm olan bir ışık gönderilirse, 80 nm lik ışık uygulamasına göre nasıl bir fark gözlenir? Daha çok elektron kopar mı? Eğer öyle değilse, peki ne olur?

Işık Fotonları ve Kimyasal Tepkimeler

Işık etkisi ile gerçekleşen tepkimelere *fotokimyasal tepkimeler* adı verilir. Fotonlar bu tür tepkimelerde ana etmen olduğu için, fotonları "tepken" olarak düşünebiliriz ve bu tür tepkimelerde fotonları $h\nu$ simgesi ile ifade edebiliriz. Buna göre, atmosferde oksijenden ozon oluşum tepkimesi şu şekilde yazılabilir:

$$O_2 + h\nu \longrightarrow O + O$$
$$O_2 + O + M \longrightarrow O_3 + M^*$$

Birinci tepkimede gereken ışıma, dalgaboyu 242,4 nm den daha kısa olan morötesi ışıktır. Birinci tepkimede oluşan oksijen atomları (O), ikinci tepkimede O_2 molekülü ile birleşerek ozonu (O_3) oluşturur. İkinci tepkimede M ile simgelenen ve "üçüncü öğe" olarak nitelenen (örneğin $N_2(g)$ gibi) madde ise enerji fazlasını ortamdan alarak O_3 moleküllerinin o anda ayrışmasını önlemek için gereklidir.

▶ Burada oksijen gazından ozonun oluşumunu gösteren tepkimeler, gerçekte atmosferde ozon oluşumunu sağlayan tepkimelerdir.

Ozonun fotokimyasal tepkimeleri, Örnek 8-2 de ele alınmaktadır. Orada Planck sabiti (h) ile frekansın (ν) çarpımının, joule cinsinden, elektromanyetik ışımanın tek bir fotonunun enerjisini verdiğini göreceğiz. Bu enerji 1 joule'ün çok küçük bir kesridir. Bu nedenle daha büyük bir enerji olan 1 mol fotonun ($6{,}02214 \times 10^{23}$ foton) enerjisini kullanmak daha uygun olacaktır.

ÖRNEK 8-2 Işık Fotonunun Enerjisini Hesaplamakta Planck Eşitliğinin Kullanılması

O_2 nin foto ayrışmasını sağlayacak en uzun dalga boylu ışımanın dalgaboyu 242,4 nm dir. Bu ışığın; **(a)** bir fotonunun, **(b)** bir mol fotonunun enerjisi nedir?

Analiz

Plank eşitliğini kullanmak için ışımanın frekansına ihtiyacımız var. Bunun için dalgaboyunu metre cinsinden yazarak, (8.1) eşitliğini kullanabiliriz. Planck eşitliği bir ışık fotonu için yazılmıştır. Bunun için h'nin aynı birimdeki değerini de hesaba katalım. Tek bir foton için bulunan bu değeri Avagadro sayısı ile çarparak bir mol fotonun enerjisini hesaplayalım.

Çözüm

(a) İlk önce, ışımanın frekansını hesaplayınız.

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{2{,}998 \times 10^{8}\ \text{m s}^{-1}}{242{,}4 \times 10^{-9}\ \text{m}} = 1{,}237 \times 10^{15}\ \text{s}^{-1}$$

Daha sonra, tek bir fotonun enerjisini hesaplayınız.

$$E = h\nu = 6{,}626 \times 10^{-34} \times \frac{\text{J s}}{\text{foton}} \times 1{,}237 \times 10^{15}\ \text{s}^{-1}$$
$$= 8{,}196 \times 10^{-19}\ \text{J/foton}$$

(b) Bir mol fotonun enerjisini hesaplayın.

$$E = 8{,}196 \times 10^{-19}\ \text{J/foton} \times 6{,}022 \times 10^{23}\ \text{foton/mol}$$
$$= 4{,}936 \times 10^{5}\ \text{J/mol}$$

Değerlendirme

Tek bir fotonun enerjisi SI biriminde verildiğinde o kadar küçüktür ki yorumlamakta zorluk çekilir. Oysa enerjinin bir mol foton için verilmesi bir anlam taşır. Yukarıda gördüğümüz gibi, 242,4 dalgaboyunda ışık 493,6 kJ/mol enerji taşır. Bu enerjinin büyüklüğü, kimyasal tepkimelerin iç enerji ve entalpi değişimleri mertebesindedir (bakınız Bölüm 7).

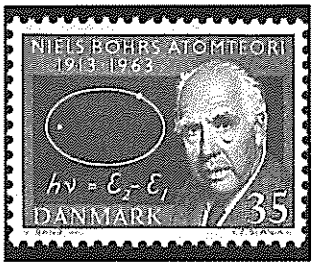
ALIŞTIRMA A: Ozonun atmosferdeki koruyucu etkisi 230–290 nm dalgaboyu aralığındaki morötesi ışımayı soğurmasından kaynaklanır. Bu dalgaboyu aralığındaki ışımanın enerjisi kaç kJ/mol dur?

ALIŞTIRMA B: Klorofil, enerjisi $3{,}056 \times 10^{-19}$ J/foton ve $4{,}414 \times 10^{-19}$ J/foton olan ışığı soğurur. Bu soğurulan ışıklar hangi renk ve frekansa sahiptirler?

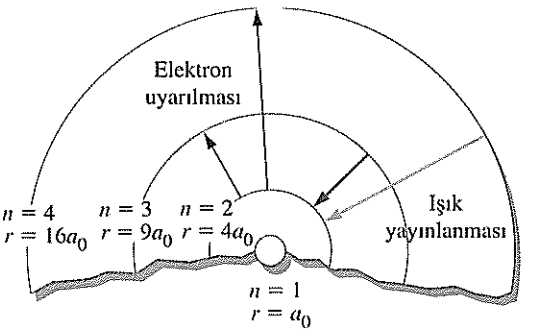
8-4 Bohr Atom Modeli

Rutherford'un atom modeli (Kesim 2-3) elektronların atom çekirdeği çevresine nasıl yerleştiğini göstermez. Klasik fiziğe göre, hareketsiz, eksi yüklü elektronların artı yüklü çekirdeğin içine doğru çekilmesi gerekir. Bu durum atomlardaki elektronların, tıpkı güneşin etrafındaki gezegenler gibi, hareket etmesi gerektiği düşüncesini doğurmuştur. Bununla birlikte gene klasik fiziğe göre, yörüngede hareket eden elektronların sürekli hızlanması ve enerji yayması gerekirdi. Bu enerji kaybı nedeni ile elektronlar her turda çekirdeğe daha da yaklaşacaklar ve sonunda çekirdeğe düşeceklerdi. 1913 yılında Niels Bohr (1885 -1962) Planck'ın kuantum kuramını kullanarak bu ikilemi giderdi. Bohr, klasik fizik ve kuantum kuramının ilginç bir sentezini yaparak, hidrojen atomu için aşağıdaki varsayımları ortaya attı.

1. Elektron çekirdeğin çevresindeki dairesel yörüngede, klasik fiziğin tarif ettiği şekilde hareket eder.
2. Elektron izin verilen sabit bir yörünge dizisinde bulunabilir ve buna *durağan hal* denir. İzin verilen yörüngeler, elektronun belirli özelliklerinin kendine özgü değerler aldığı yörüngelerdir. Klasik kuramın öngörüsünün aksine, *bir elektron belirli bir yörüngede ne kadar kalırsa kalsın, enerji yayınlamaz ve enerjisi sabit kalır.* Elektronun, belirli yörüngeler dizisine yol açan ve sadece izin verilen değerleri alabilen özelliğine *açısal momentum* denir. Açısal momentumun olabileceği değerler $nh/2\pi$ dir ve burada n bir tam sayıdır. Böylece,



▲ **Niels Bohr (1885–1962)** Hidrojen atomu üzerindeki çalışmasına ek olarak, 1920 ler ve 1930 larda teorik fizikçilerin bulunmak istediği bir yer olan Kopenhag'taki Kuramsal Fizik Enstitüsünün başkanlığını da yapmıştır.



▶ ŞEKİL 8-13
Bohr hidrojen atomu modeli
Şekilde hidrojen atomunun bir kısmı çizilmiştir. Çekirdek merkezde, elektron ise bağımsız yörüngelerden $n = 1, 2...$ birinde bulunur. Atom uyarıldığında elektron, şekilde siyah oklarda gösterildiği gibi, daha yüksek sayılı yörüngelere çıkar. Elektron, tekrar daha düşük sayılı bir yörüngeye dönerken ışık yayınlanır. Şekilde, hidrojen spektrumunun Balmer serilerindeki çizgileri meydana getiren iki elektron geçişi, spektrum çizgilerini temsil eden renklerle gösterilmiştir.

UNUTMAYINIZ
Momentum (p), taneciğin kütlesi ile hızının çarpımıdır. Eğer tanecik dairesel hareket yaparsa, açısal momentuma sahip olur.

birinci yörünge için $n = 1$; ikinci yörünge için $n = 2$ değerini alır ve benzer şekilde sürer.

3. Elektron yalnızca izin verilen bir yörüngeden, izin verilen diğer bir yörüngeye geçebilir. Bu tür bir geçişte Planck eşitliği ile hesaplanabilen, belirli değere sahip bir enerji paketi (kuanta) alınır ya da verilir.

Şekil 8-13 de gösterilen hidrojen atom modeli bu kavramlara dayanır. Elektron için verilen haller $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ ve benzeri şekilde numaralanır. Elektronun açısal momentumunun, yalnızca izin verilen belirli değerler alabileceği şeklindeki Bohr kabulünden doğan bu tam sayılara, **kuantum sayıları** denir.

Bohr kuramı, hidrojen atomunda izin verilen yörüngelerin yarıçaplarını kestirebilir.

$$r_n = n^2 a_0, \text{ burada } n = 1, 2, 3, \ldots \quad \text{ve} \quad a_0 = 53 \text{ pm } (0{,}53 \text{ Å}) \tag{8.4}$$

▶ Bohr modeline göre, düşük enerjili orbitaller çekirdeğe daha yakındır ve düşük enerjili orbitallerde bulunan elektronların atomdan uzaklaştırılmaları için daha çok enerji soğurulması gerekir.

Kuram, bu yörüngelerdeki elektronların hızlarını ve en önemlisi enerjilerini hesaplama olanağı verir. Çekirdekten tamamen uzaklaşmış elektronun enerjisi *sıfır* kabul edilir. Çekirdekten çok uzaktaki bir serbest elektron çekirdeğe çekilerek bir n yörüngesine yerleştiğinde, elektronun enerjisi azalır ve eksi işaretli olarak aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$E_n = \frac{-R_H}{n^2} \tag{8.5}$$

▶ Bir kişinin merdiven basamaklarını çıktığını (uyarılma) veya indiğini (yayılma) düşününüz. Bu kişinin herhangi iki basamak arasındaki bir düzeyde durması mümkün değildir.

Burada R_H, değeri $2{,}179 \times 10^{-18}$ J olan sayısal bir sabittir.

Hidrojen atomunun *enerji düzeyleri* ya da izin verilen yörüngelerin enerjileri (8.5) eşitliği ile hesaplanabilir. Bu enerji düzeyleri Şekil 8-14 de şematik olarak gösterilmektedir. Bu gösterim şekline **enerji düzeyi diyagramı** denir. Belirli enerji düzeylerinin *izinli* (izin verilen) ya da *izinsiz* (izin verilmeyen) olduğunu önceden kestirmede, Bohr modelinin nasıl kullanılacağı Örnek 8-3 de gösterilmektedir.

Normal olarak, hidrojen atomundaki elektron çekirdeğe en yakın yörüngede bulunur ($n = 1$). Bu, en düşük izin verilen enerji düzeyi ya da **temel hal** dir. Elektron bir enerji kuantumu kazandığında daha yüksek enerji düzeyine geçer ($n = 2$, 3 ve devamı) ve hidrojen atomu **uyarılmış hale** gelir. Elektron çekirdeğe yakın bir yörüngeye indiği zaman, iki enerji düzeyi arasındaki fark kadar enerji yayınlanır. İki düzey arasındaki enerji *farkını* hesaplayabileceğimiz bir bağıntı elde etmek için (8.6) eşitliğini kullanabiliriz. Burada, n_s son, n_i ise ilk enerji düzeyidir.

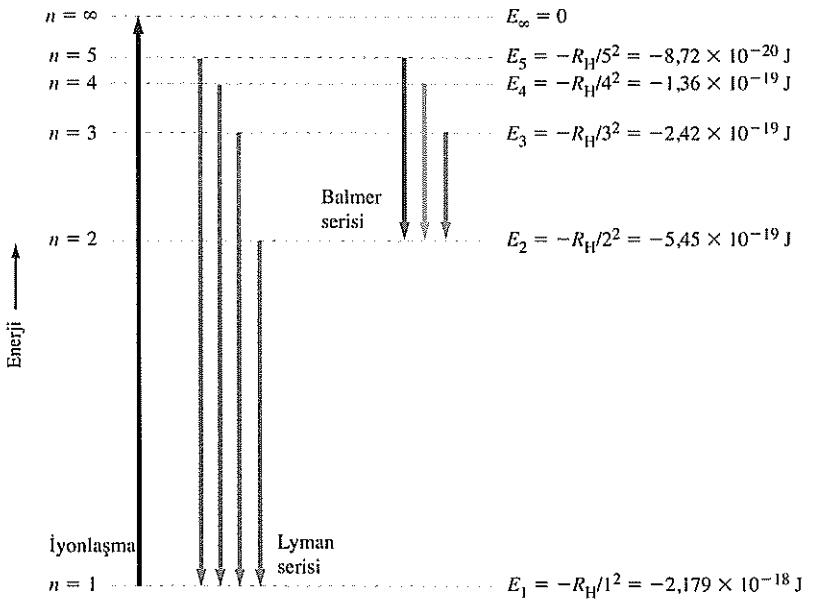
▶ Bu eşitliğin Balmer eşitliğine (8.2) benzediğine dikkat ediniz. Bohr, Rutherford'un atom modelini açıklamak için atom yapısı kuramını geliştirmiş ve bunun yanında Balmer eşitliğinin kuramsal açıklamasını da yapmıştır.

$$\Delta E = E_s - E_i = \frac{-R_H}{n_s^2} - \frac{-R_H}{n_i^2} = R_H\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_s^2}\right) = 2.179 \times 10^{-18}\text{J}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_s^2}\right) \tag{8.6}$$

Yayınlanan veya soğurulan bir fotonun enerjisi (E_{foton}), bu enerji farkının büyüklüğüne eşittir. Çünkü $E_{\text{foton}} = h\nu$ ve $E_{\text{foton}} = |\Delta E|$ dir. Dolayısıyla

$$|\Delta E| = E_{\text{foton}} = h\nu$$

eşitliğini yazabiliriz. Burada $|\Delta E|$, elektron geçişinin gerçekleştiği enerji



◀ ŞEKİL 8-14
Hidrojen atomunun enerji düzeyi diyagramı
Eğer elektron 2,179 × 10^{-18} J değerinde bir enerji kazanırsa, $n = \infty$ yörüngesine geçer, yani hidrojen atomu iyonlaşır (siyah ok). Elektron yüksek sayılı bir yörüngeden $n = 1$ yörüngesine inerse morötesi ışık şeklinde enerji yayınlar ve bu da Lyman serisi olarak adlandırılan bir spektral seri meydana getirir (gri çizgiler). Elektron geçişi $n = 2$ yörüngesine olursa, meydana gelen çizgiler Balmer serisinde olur (Şekil 8-10 u anımsayın). Bu çizgilerden üçü burada görülmektedir (renkli). $n = 3$ yörüngesine geçişler ise, kızılötesi bölgede spektrum çizgileri oluşturur.

ÖRNEK 8-3 Enerji Kuantlaşmasının Anlamını Kavrama

Hidrojen atomunda, $E_n = -1{,}00 \times 10^{-20}$ J değerinde bir enerji düzeyinin bulunma olasılığı var mıdır?

Analiz

(8.5) eşitliğini kullanarak n^2 buradan da n yi bulunuz. Eğer n nin değeri tam sayı ise, verilen enerji hidrojen atomunun herhangi bir enerji seviyesini temsil eder.

Çözüm

(8.5) eşitliğini kullanarak n^2 ve buradan n değerini aşağıdaki gibi hesaplayalım.

$$n^2 = \frac{-R_H}{E_n}$$

$$= \frac{-2{,}179 \times 10^{-18}\,\text{J}}{-1{,}00 \times 10^{-20}\,\text{J}} = 2{,}179 \times 10^2 = 217{,}9$$

$$n = \sqrt{217{,}9} = 14{,}76$$

Değerlendirme

n için bulunan bu değer bir tamsayı olmadığından, bu enerji düzeyi hidrojen atomu için izin verilen bir enerji düzeyi değildir.

ALIŞTIRMA A: Hidrojen atomu için $E_n = 2{,}69 \times 10^{-20}$ J değerinde bir enerji düzeyi var mıdır?

ALIŞTIRMA B: Hidrojen atomundaki bir elektronun enerjisi $-4{,}45 \times 10^{-20}$ J dur. Bu elektron hangi seviyede bulunur?

düzeyleri arasındaki enerji farkının *büyüklüğünü* göstermek için kullanmıştır.

Örnek 8-4 de, hidrojenin yayılma spektrumundaki çizgileri hesaplamak için, (8.6) eşitliği temel alınmıştır. Enerji düzeyleri arasındaki farklar belirli değerde olduğundan, yayınlanan foton enerjileri de belirli değerlerdedir. Bu nedenle, spektrum çizgileri yalnızca belirli dalgaboyunda (ya da frekansta) gözlenir.

ÖRNEK 8-4 Hidrojen Spektrumunda bir Çizginin Dalgaboyunun Hesaplanması

Hidrojenin Balmer serisinde $n = 5$ ten $n = 2$ ye geçiş sırasındaki spektrum çizgisinin dalgaboyunu hesaplayınız.

Analiz

Bu problem (8.6) eşitliğinin bir uygulamasıdır. Enerji farkı hesaplandıktan sonra, $|\Delta E| = E_{\text{foton}} = h\nu$ eşitliği kullanılarak foton frekansı hesaplanabilir. Daha sonra dalgaboyunu elde etmek için (8.1) eşitliği kullanılır.

Çözüm

(8.6) eşitliğindeki $n_i = 5$ ve $n_s = 2$ dir.

$$\Delta E = 2{,}179 \times 10^{-18}\,\text{J}\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{2^2}\right)$$
$$= 2{,}179 \times 10^{-18} \times (0{,}04000 - 0{,}25000)$$
$$= -4{,}576 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

$|\Delta E| = E_{\text{foton}} = h\nu$ eşitliği düzenlenerek frekans aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\nu = \frac{E_{\text{foton}}}{h} = \frac{4{,}576 \times 10^{-19}\,\text{J foton}^{-1}}{6{,}626 \times 10^{-34}\,\text{J s foton}^{-1}} = 6{,}906 \times 10^{14}\,\text{s}^{-1}$$

$c = \lambda\nu$ formülü kullanılarak dalgaboyu hesaplanır.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{2{,}998 \times 10^{8}\,\text{m s}^{-1}}{6{,}906 \times 10^{14}\,\text{s}^{-1}} = 4{,}341 \times 10^{-7}\,\text{m} = 434{,}1\,\text{nm}$$

Değerlendirme

Bulunan bu sonuç ile Şekil 8-10 daki verilerin çok iyi uyuştuğu görülmektedir. Işık şiddetinin, geçişe maruz kalan hidrojen atomlarının sayısı ile belirlenmesine karşın, spektral çizgilerin rengi, enerji farkı (ΔE) ile belirlenir. Ne kadar çok sayıda atom böyle bir geçişe maruz kalırsa artan ışık şiddeti ile beraber o kadar çok foton açığa çıkar.

ALIŞTIRMA A: Hidrojen atomunda $n = 2$ den $n = 4$ e bir elektron geçişi sırasında, soğurulan ışığın dalgaboyunu belirleyiniz.

ALIŞTIRMA B: Şekil 8-14 ü göz önüne alarak, hidrojen spektrumunun Lyman serilerinde, en uzun dalgaboyuna sahip çizgiyi oluşturan geçişi belirleyiniz. Bu çizginin dalgaboyunu, angstrom ve nanometre cinsinden hesaplayınız.

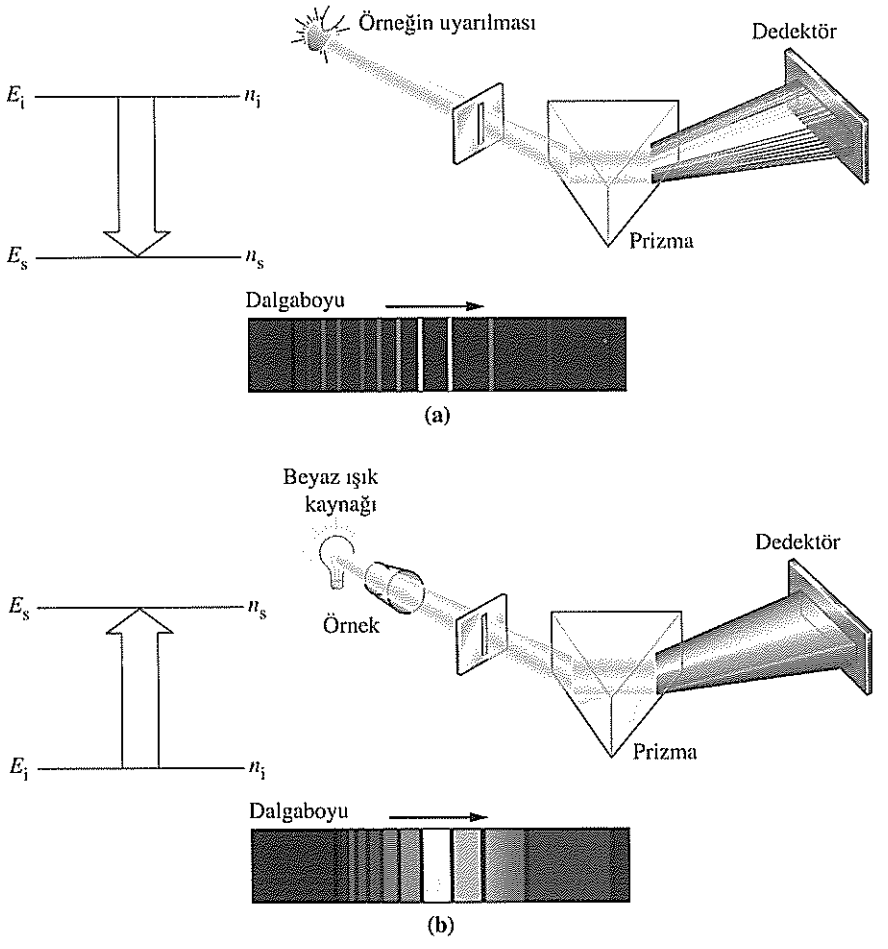
Bohr Kuramı ve Spektroskopi

Örnek 8-4 de görüldüğü gibi, Bohr kuramı atomların yayılma spektrumlarını anlamak için bir model oluşturur. Yayılma spektrumları, bir atom kümesindeki (kabaca 10^{20} atomdan oluşan) tek tek atomlar mümkün olan uyarılmış hallere atladıkları durumlarda gerçekleşir. Uyarılmış atomlar, işte o zaman, aşağıdaki denklemle frekansı hesaplanabilen fotonlar yayınlayarak, daha düşük enerjili seviyelere geçerler.

$$\nu_{\text{foton}} = \frac{E_i - E_s}{h} \tag{8.7}$$

Böylece, atomun enerji seviyelerinin kuantlaşması, çizgi spektrumlarını oluşturur.

Bu bölümün başında, bir numunenin yayılma spektrumunun, yayınlanan ışığın bir prizmada saçılıma uğratılması ve ayrılan bileşenlerinin dalga boylarının belirlenmesi ile nasıl ölçülebileceği anlatılmıştı. Aynı amaçla başka bir ölçüm tekniği tasarlanabilir. Bu teknikte elektromanyetik ışıma, örneğin beyaz ışık, önce temel haldeki atomlardan ve buradan açığa çıkan ışık da, daha sonra bir prizmadan geçirilir. Böylelikle hangi dalgaboyunun atomlar tarafından *soğurulduğu* gözlenir. Bu tür spektroskopiye *soğurma(absorpsiyon) spektroskopisi* denir. Bu iki tür spektroskopi, soğurma ve *yayılma(emisyon) spektroskopisi* Şekil 8-15 de gösterilmiştir.



◀ ŞEKİL 8-15
Yayılma ve soğurma spektroskopisi
(a) Yayılma spektroskopisi. Fotoğraf filminin siyah zemininde parlak çizgiler görülür. **(b)** Soğurma spektroskopisi. Fotoğraf filminin parlak zemininde siyah çizgiler ortaya çıkar.

Bir fotonun soğurulabilmesi için, fotonun enerjisinin ilk ve son halleri arasındaki enerji farkına tam olarak eşit olması gerekir. Yani,

$$\nu = \frac{E_s - E_i}{h} \tag{8.8}$$

olmalıdır. Enerji düzeyleri arasındaki fark arttıkça, elektronik geçiş için gereken fotonun dalgaboyu kısalır.

(8.7) eşitliğinde enerji farkı için E_i–E_s yazılırken, (8.8) eşitliğinde E_s–E_i olarak yazıldığına dikkat ediniz. Bu yazım şekli, foton soğurulması ve foton yayılması sırasında enerjinin korunduğunu gösterir. Enerji yayılmasında $E_s = E_i - h\nu$ ve dolayısıyla $\nu = (E_i - E_s) / h$ olur. Foton soğurulmasında ise $E_s = E_i + h\nu$ ve buradan $\nu = (E_s - E_i) / h$ olur.

Spektroskopik yöntemler, moleküllerin yapısının aydınlatılmasında yoğun olarak kullanılmaktadır. Kimyacılar tarafından kullanılan diğer spektroskopi türleri kitabın başka bölümlerinde verilmiştir.

Yayılma spektroskopisi genel olarak soğurma spektroskopisinden daha karmaşıktır. Uyarılmış haldeki bir örnek, farklı enerji seviyelerinde atomlar içermektedir ve bunlar daha düşük seviyede çeşitli hallere atlayabilirler. Soğurma yapan bir örnekte atomlar genellikle uyarılmamış halde, yani, sadece temel halde bulunurlar ve geçişler sadece temel halden başlar. Örneğin, temel haldeki hidrojen atomlarının soğurmasında hidrojenin Balmer çizgileri görülmez.

Bohr Kuramı ve Hidrojenin İyonlaşma Enerjisi

Bohr atom modeli, katyonların nasıl oluştuğunu çok iyi açıklar. Temel haldeki ($n = 1$) bir elektronu atomdan uzaklaştırabilecek enerjiye sahip

bir foton hidrojen atomuna çarptığında, bir elektron atomdan uzaklaşır ve serbest hale geçer; yani, atom iyonlaşır ve serbest elektronun enerjisi sıfır olur.

$$h\nu_{\text{foton}} = E_{\text{i}} = -E_1$$

Burada E_{i} hidrojen atomunun *iyonlaşma enerjisidir*. Hidrojen atomunda, başlangıçta temel halde bulunan bir elektron için Bohr gösterimi uygulanırken, $n_{\text{i}} = 1$ ve $n_{\text{s}} = \infty$ alınırsa, aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$h\nu_{\text{foton}} = E_{\text{i}} = -E_1 = \frac{R_{\text{H}}}{1^2} = R_{\text{H}}$$

Atomların iyonlaşması ile ilgili ileri sürülen düşünceler, Bohr modelinin başka bir yönüyle birleştirilerek Örnek 8-5 de uygulanmıştır: Bu model, hidrojen gibi tek elektron içeren He^+ ve Li^{2+} gibi iyonlar için de geçerlidir. Ancak bu tür iyonların enerji düzeyi hesaplanırken, çekirdek yükü (atom numarası) da göz önüne alınmalıdır. Yani,

$$E_n = \frac{-Z^2 R_{\text{H}}}{n^2} \tag{8,9}$$

Bohr Modelinin Yetersizlikleri

Bohr modeli, hidrojen atomu ve tek elektronlu iyonlar için başarılı sonuçlar vermesine karşın, birçok yetersiz yönleri vardır. Örneğin, deneysel veriler, çok elektronlu atom ve iyonların yayılma spektrumlarının, çok uğraşılmasına karşın, Bohr modeli ile açıklanamayacağını göstermiştir.

ÖRNEK 8-5 Bohr Modelinin Kullanılması

Temel haldeki Li^{2+} iyonundan, frekansı $5{,}000 \times 10^{16}\ s^{-1}$ olan bir fotonun etkisi ile iyonlaşarak ayrılan üçüncü elektronun kinetik enerjisini hesaplayınız.

Analiz

Belli bir enerjiye sahip olan foton bir taneciği iyonlaştırdığında artan enerji elektrona kinetik enerji şeklinde aktarılır; yani, $E_{\text{foton}} = IE + KE_{\text{elektron}}$ dur. Li^{+2} iyonundaki elektronların enerjisi (8.9) eşitliği kullanılarak hesaplanır ve fotonun enerjisi Planck bağlantısı ile bulunur. Aradaki fark elektronun kinetik enerjisidir.

Çözüm

$$E_1 = \frac{-3^2 \times 2{,}179 \times 10^{-18}\ \text{J}}{1^2} = -1{,}961 \times 10^{-17}\ \text{J}$$

Frekansı $5{,}000 \times 10^{16}\ s^{-1}$ olan fotonun enerjisi ise,

$$E = h\nu = 6{,}626 \times 10^{-34} \times \frac{\text{J s}}{\text{foton}} \times 5{,}000 \times 10^{16}\ s^{-1} = 3{,}313 \times 10^{-17}\ \text{J foton}^{-1}$$

Elektronun kinetik enerjisi $KE_{\text{elektron}} = E_{\text{foton}} - IE$ eşitliğinden hesaplanır; yani,

$$\text{kinetik enerji} = 3{,}313 \times 10^{-17}\ \text{J} - 1{,}961 \times 10^{-17}\ \text{J} = 1{,}352 \times 10^{-17}\ \text{J dur.}$$

Değerlendirme

Bu örneğin çözümünde kullanılan ($E_{\text{foton}} = IE + KE_{\text{elektron}}$) ve fotoelektrik olayının açıklamasında kullanılan ($E_{\text{foton}} = eV_0 + KE_{\text{elektron}}$) eşitliklerinin enerjinin korunumu kavramına benzerliğine dikkat ediniz.

ALIŞTIRMA A: Be^{+3} iyonunda, bir elektronun $n = 5$ ten $n = 3$ e geçişi sırasında yayınlanan ışığın dalgaboyunu hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: Hidrojen atomuna benzeyen, bilinmeyen bir iyondaki bir elektronun $n = 3$ ten $n = 2$ ye geçişi sırasında yayınlanan ışığın frekansı, hidrojen atomundaki geçiş sırasında görülen frekansın 16 katıdır. Bu iyon hangi iyondur?

Buna ek olarak, Bohr kuramı manyetik alanın yayılma spektrumlarına etkisini de açıklayamamaktadır. Temel bir bakış açısı ile Bohr kuramı klasik ve modern fiziğin sıkıntılı bir karışımıdır. Bohr, dairesel bir yörüngedeki elektronu merkeze doğru iten kuantlaşmış bir açısal momentin var olduğu kabulünün temel bir dayanağı olmadığını, zamanında anlamıştır. Bohr yalnızca kendi deneyleri ile örtüşebilen bir kuram üretmiştir.

Modern kuantum mekaniği, 1926 da Bohr kuramının yerini almıştır. Enerji ve açısal momentumun kuantlaşması bu yeni kuantum kuramının temel varsayımları olup, ilave kabullere gereksinim duyulmamıştır. Bununla birlikte, Bohr kuramındaki dairesel yörünge kavramı kuantum mekaniğinde yer almaz. Bohr kuramı klasik fizikten yeni kuantum fiziğine geçiş için bir sıçrama tahtası olmuştur. Bohr kuramının bilimsel gelişmedeki önemi küçümsenmemelidir.

KAVRAM DEĞERLENDİRME

Hidrojen atomunda aşağıda gösterilen elektronik geçişlerin hangisi en düşük dalgaboyunda foton yayılımı yapacaktır? $n = 1$ den $n = 4$ e; $n = 4$ den $n = 2$ ye; ve $n = 3$ den $n = 2$ ye.

8-5 Yeni Bir Kuantum Mekaniğine Yol Açan İki Kavram

Bir önceki kesimde Bohr kuramının bazı başarılarını ve çok elektronlu atomlardaki bazı yetersizliklerini incelemiştik. Bohr'un hidrojen üzerinde yaptığı çalışmalardan on yıl kadar sonra ortaya çıkan iki temel kavram, kuantum mekaniğinin yeniden gözden geçirilmesine neden olmuştur. Bu ve bundan sonraki kesimde sözkonusu iki yeni kavramı ve dalga mekaniği denilen yeni kuantum mekaniğini ele alacağız.

Dalga –Tanecik İkiliği

Einstein, fotoelektrik olayını açıklayabilmek için, ışığın fotonlardan oluşan tanecikli bir yapıya sahip olduğunu ileri sürmüştü. Oysa örneğin, ışığın bir prizma tarafından spektrum şeklinde saçılması gibi olaylar, ışığı dalga olarak kabul etmekle daha iyi açıklanabiliyordu. Buna göre, ışığın hem dalga, hem de tanecik özelliğine sahip olabileceği yani *ikili* doğası öne sürülmüştür.

1924 yılında Louis de Broglie, ışık ve maddenin doğasını dikkate alarak, *küçük tanecikler aynı zamanda dalgaya benzer özellikler gösterebilirler*, şeklinde bir düşünce ileri sürdü. De Broglie böyle bir iddiayı nasıl ortaya atmıştı? de Broglie, aşağıdaki Einstein'ın meşhur eşitliğinin farkındaydı:

$$E = mc^2$$

Burada, m fotonun bağıl kütlesi ve c ışık hızıdır. de Broglie, bir fotonun enerjisini hesaplamak için, bu eşitlikle Planck bağıntısını, $E = h\nu$, birleştirdi.

$$h\nu = mc^2$$

$$\frac{h\nu}{c} = mc = p$$

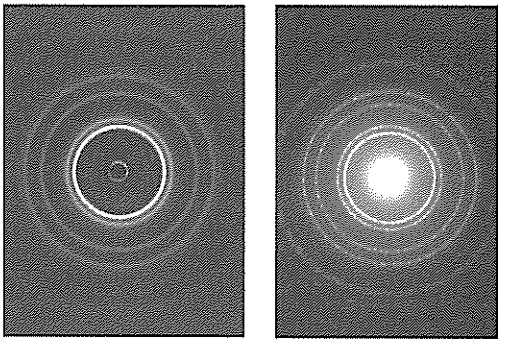
Bu eşitlikte p fotonun momentumudur. $\nu\lambda = c$ yazılarak,

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

bulunur. De Broglie bu eşitliği elektron gibi maddesel bir taneciğe uygulamak için taneciğin kütlesi m ile hızı u nun çarpımını momentum olarak



▲ Louis de Broglie (1892–1987)
de Broglie doktora çalışmaları sırasında küçük taneciklerin dalga – parçacık ikiliğini kavramış ve bu çalışmasıyla 1929 yılında fizikte Nobel Ödülü almıştır.



(a) (b)

▶ ŞEKİL 8-16
Elektronların Dalga Özelliğinin Gösterimi
(a) Metal folyo ile X-ışınları kırınımı. **(b)** Metal folyo ile elektronların kırınımı, elektronların dalga özelliğini kanıtlar.

aldı. Bu işlem yapıldığında de Broglie'nin meşhur bağıntısı elde edilir.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mu} \qquad (8.10)$$

UNUTMAYINIZ

(8.10) eşitliğinde, dalgaboyu metre, kütle kilogram ve hız metre/saniye birimindedir. Planck sabiti, kütle, uzunluk ve zaman birimlerinde ifade edilmelidir. Burada joule birimi yerine eşdeğeri olan kg m^2 s^{-2} birimi konulmalıdır.

De Broglie, maddesel taneciklere eşlik eden dalgalara "madde dalgaları" adını verdi. Eğer küçük tanecikler için madde dalgaları varsa, elektron gibi küçük taneciklerin demetleri de dalgaların özgün özelliklerini taşımalı, örneğin kırılmalıdır (bakınız sayfa 298). Eğer dalgaların dağıldığı nesneler arasındaki uzaklık, ışımanın dalgaboyuna eşitse, kırılma gerçekleşir ve girişim olayı görülür. Örneğin X–ışınları yaklaşık 1 Å (100 pm) dalgaboyuna sahip, yüksek enerjili ışınlardır. X–ışınları, alüminyum metali içerisinde, aralarında 2 Å (200 pm) mesafe bulunan belli düzendeki atomlar tarafından dağıtılır ve Şekil 8-16 da gösterilen kırınım olayı ortaya çıkar.

1927 de Birleşik Devletlerden C. J. Davisson ve L. H. Germer, yavaş hareket eden bir elektron demetinin nikel kristal tarafından kırınıma uğratıldığını gösterdiler. Aynı yıl, benzer bir deneyde İskoçya'dan G. P. Thomson bir elektron demetini ince bir metal yaprağa gönderdi ve Şekil 8-16 da gösterilen alüminyum yaprak tarafından, elektronların kırınımında olduğu gibi, aynı dalgaboyundaki X- ışınları ile elde edilenin aynısı bir kırınım elde etti.

Thomson ve Davisson, elektron kırınımı üzerine yaptıkları deneyler ile 1937 Nobel Fizik Ödülünü paylaştılar. George P. Thomson elektronun keşfi nedeni ile 1906 Nobel Fizik Ödülünü kazanan J. J. Thomson'ın oğludur. İlginç olan, baba Thomson'ın elektronun tanecik özelliğini, oğul Thomson'ın ise elektronun bir dalga olduğunu göstermesidir. Böylece baba ve oğul, elektronların **dalga-tanecik ikiliğini** birlikte ortaya çıkarmış oldular.

Örnek 8-6 da dalgaboyu için hesaplanan 24,2 pm, hidrojen atomunun birinci Bohr yörüngesinin yarıçapının yaklaşık yarısıdır. Dalga-tanecik ikiliği ancak, dalga boylarının atom ya da çekirdek boyutlarına yakın olması durumunda önem kazanır. Kavram, beyzbol topu ve otomobil gibi büyük nesnelere uygulandığında fazla bir anlam taşımaz. Çünkü bu nesnelerin dalgaboyu ölçülemeyecek kadar küçüktür. Bu büyük nesneler için klasik fizik yasaları yeterlidir.

Belirsizlik İlkesi

Klasik fizik yasaları bize kesin tahmin olanakları verir. Örneğin bir roketin, ateşlendikten sonra yerleşeceği noktayı kesin olarak hesaplayabiliriz. Roketin çizeceği rotayı etkileyen değişkenleri daha duyarlı şekilde ölçersek, hesaplarımız daha doğru olur. Gerçekte erişilebilecek doğruluğun sınırı yoktur. Klasik fizikte hiçbir şey şansa bırakılmaz, fiziksel davranışlar önceden kesin olarak tahmin edilebilir.

ÖRNEK 8-6 Bir Tanecik Demetine Eşlik Eden Dalganın Dalgaboyunun Hesaplanması

Işık hızının onda biri kadar hızla hareket eden elektronlara eşlik eden dalganın dalgaboyu nedir?

Analiz

Dalgaboyunu hesaplamak için (8.10) eşitliğini kullanırız. Bunun için elektronun kütlesine, hızına ve Planck sabitine ihtiyaç duyarız. Bunları elde ettikten sonra birimlerini kg, m ve s cinsinden yazarız.

Çözüm

Elektronun kütlesi $9{,}109 \times 10^{-31}$ kg dır (Çizelge 2.1).

Elektronun hızı $u = 0{,}100 \times c = 0{,}100 \times 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m s}^{-1} = 3{,}00 \times 10^{7}\ \text{m s}^{-1}$ dir.

Planck sabiti $h = 6{,}626 \times 10^{-34}\ \text{J s} = 6{,}626 \times 10^{-34}\ \text{kg m}^2\ \text{s}^{-2}\ s = 6{,}626 \times 10^{-34}\ \text{kg m}^2\ \text{s}^{-1}$ dir.

Bu veriler (8.10) eşitliğinde yerine konulduğunda

$$\lambda = \frac{6{,}626 \times 10^{-34}\ \text{kg m}^2\ \text{s}^{-1}}{(9{,}109 \times 10^{-31}\ \text{kg})(3{,}00 \times 10^{7}\ \text{m s}^{-1})} = 2{,}42 \times 10^{-11}\ \text{m} = 24{,}2\ \text{pm}$$

Değerlendirme

J birimini $\text{kg m}^2\ \text{s}^{-2}$ biriminde kullanarak, dalgaboyununu metre biriminde elde edebiliriz.

ALIŞTIRMA A: Süpermen'in kütlesi 91 kg kabul edilirse, süpermen ışık hızının beştebiri bir hızla hareket ederken ona eşlik eden dalganın dalgaboyu ne olur?

ALIŞTIRMA B: 10,0 pm lik de Broglie dalgaboyunun ortaya çıkması için bir proton demeti hangi hıza sahip olmalıdır? Protonun kütlesini Çizelge 2.1 den alınız.

1920 lerde Niels Bohr ve Werner Heisenberg, atomlardan daha küçük taneciklerin davranışlarının ne dereceye kadar belirlenebileceğini görebilmek için deneyler tasarladılar. Bunun için, taneciğin konumu (x) ve momentumu ($p = mu$) gibi iki değişkenin ölçülmesi gerekli idi. Bu bilim adamlarının eriştiği sonuca göre, ölçümde *daima* bir belirsizlik olması gerekiyordu ve bu belirsizlik, konumdaki belirsizlik Δx ile momentumdaki belirsizlik, Δp nin çarpımı

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \tag{8.11}$$

şeklinde olmalı idi.

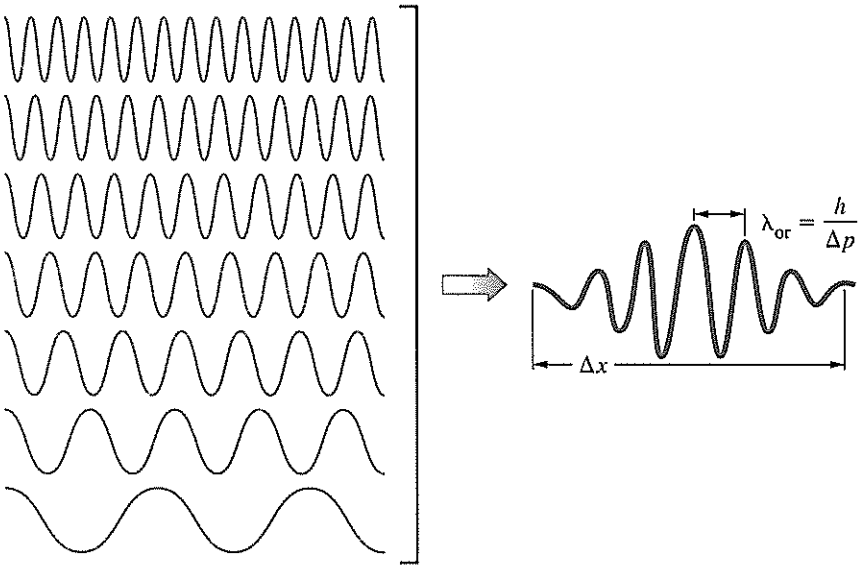
Heinsberg belirsizlik ilkesi olarak adlandırılan bu bağıntı, bir taneciğin aynı anda *konumunun* ve *momentumunun* büyük bir duyarlılıkla ölçülemeyeceğini anlatmaktadır. Örneğin, bir taneciğin konumunu kesin şekilde belirleyecek bir deney tasarlarsak, onun momentumunu duyarlı şekilde ölçemeyiz, momentum belirlenebiliyorsa bu kez de taneciğin konumunu belirlenemez. Basit bir deyişle, eğer bir taneciğin nerede olduğunu kesin olarak biliyorsak, taneciğin nereden geldiğini veya nereye gittiğini kesin şekilde bilemeyiz. Benzer şekilde, bir taneciğin nasıl hareket ettiğini biliyorsak, onun nerede olduğunu belirleyemeyiz. Atomaltı dünyada nesneler daima "belirsizliklere" sahip olmalıydı. Neden böyle olması gerekiyordu?

de Broglie eşitliği (eşitlik 8.10), dalgaboyu λ olan bir parçacığın momentumunun kesin olarak bilindiğini belirtir. Bununla birlikte, dalga kendiliğinden boşlukta yayıldığı için, parçacıkların kesin olarak yerini belirleyemeyiz. Parçacığın yerini sabitlemek suretiyle bu olumsuzluğu bertaraf etmek için, farklı dalgaboyundaki dalgaları Şekil 8-17 de önerildiği gibi sabit bir girişim desenine sahip bir "dalga paketi" şeklinde tasarlayabiliriz. Dalga paketindeki her bir dalgaboyu, momentumları farklı bir türü temsil etmekle beraber, dalga topluluğuna ait parçacıkların momemtumu belirsizdir. Ne kadar çok dalgayı bu şekilde tek parçada birleştirirsek momentumdaki belirsizlik o kadar artar. Bunun tersine bir parçacığın momentumu için ne kadar doğru bilgi elde etmek istiyorsak, o kadar az dalgaboyunu kombine etmemiz gerekir ve bu durumda görüntü daha yayvan



▲ Werner Heisenberg (1901–1976)
Heisenberg, belirsizlik ilkesini ortaya atması yanında (bunun için 1932 Nobel Fizik Ödülünü kazanmıştır), hidrojen atomunu matematiksel olarak açıklamış ve Schrödinger eşitliği (sayfa 323) ile bulunan aynı değerleri bulmuştur. Resimde Heisenberg (solda) Niels Bohr ile birlikte bir akşam yemeğinde görülmektedir.

▶ Birçok kişi için, belirsizlik ilkesini kabul etmek kolay olmamıştır. Einstein bile, 1920 lerin ortalarından, 1955 deki ölümüne kadar, belirsizlik ilkesinin yanlışlığını kanıtlamak için uğraşmıştır.



▲ ŞEKİL 8-17
Belirsizlik İlkesinin Grafiksel Olarak Açıklanması
Farklı dalga boyundaki dalgalar yığını (solda) bir "dalga paketi" biçiminde (sağda) birleştirebilir. Farklı dalga boylarının çakışmaları ile ortalama bir dalga boyu (λ_{or}) elde edilir ve dalga paketi her bir dalgadan Δx mesafeye dönüşür. Ne kadar fazla dalgaboyu bu şekilde toplanırsa, o kadar doğru bir dalga paketi elde edilir. Diğer bir deyişle Δx o kadar küçülür. Bununla birlikte, her bir dalga boyu de Broglie bağıntısına göre farklı bir momentuma sahip olduğu için momentum bileşkesinde belirsizlik artar.

olur. Böylelikle atom boyutlarına doğru inildikçe artık parçacıkların tam bir küre olduğunu kabul etmek doğru değildir. Bunun yerine, parçacıklar gitgide dalga-benzeri bir hal alır ve onların yerlerini ve momentumlarını kesinkes belirlemek artık mümkün değildir.

Dalga-tanecik ikiliğinin sonucunun belirsizlik ilkesi olduğu kavrandığında, Bohr modelindeki temel hatanın, bir elektronun tek boyutlu bir yörüngede (tek boyut, elektronun yörünge dışında hareket edemeyeceği anlamındadır) bulunduğunu kabul etmek olduğu anlaşılacaktır. Bu açıklamalardan sonra artık atomdaki elektronların çağdaş bir yaklaşımla tanımlanmasına geçelim.

Elektron-volt (eV) birimi. Bir elektron-volt, bir elektronun 1 voltluk bir potansiyel farktan düşerken kazandığı enerjidir. ▼

ÖRNEK 8-7 Bir Elektronun Konumundaki Belirsizliğin Hesaplanması

12 eV luk bir elektron, $2{,}05 \times 10^6$ m/s lik bir hıza sahiptir. Bu değerin belirsizliği % 1,5 kabul edilirse elektronun o andaki konumu ne kadar bir duyarlılıkla ölçülebilir?

Analiz

Bir belirsizliğin değeri belli bir yüzde olarak verildiğinde, verilen değeri yüze (mutlak yüzdeye) bölerek bir çarpan elde ederiz. Daha sonra bu sayı ile gerçek hızın çarpımı, gerçek hızın belirsizliğini verir.

Çözüm

Elektronun hızındaki belirsizlik;

$$\Delta u = 0{,}015 \times 2{,}05 \times 10^6 \text{ m s}^{-1} = 3{,}1 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$$

Elektronun kütlesi, $9{,}109 \times 10^{-31}$ kg (Çizelge 2.1 e bakın), elektronun hızından daha doğru olarak bilinmektedir, yani;

$$\Delta p = m\Delta u = 9{,}109 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 3{,}1 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$$
$$= 2{,}8010^{-26} \text{ kg m s}^{-1}$$

(8.11) eşitliğinden elektronun yerindeki belirsizlik

$$\Delta x = \frac{h}{4\pi\Delta p} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\,\text{kg m}^2\,\text{s}^{-1}}{4 \times 3{,}14 \times 2{,}8 \times 10^{-26}\,\text{kg m s}^{-1}} = 1{,}9 \times 10^{-9}\,\text{m} = 1{,}9 \times 10^{3}\,\text{pm}$$

Değerlendirme

Elektronun yerindeki belirsizlik yaklaşık 10 atom çapı kadardır. Hızdaki belirsizlik göz önüne alındığında, elektronun yerini daha doğru bir şekilde tespit etmek mümkün değildir.

ALIŞTIRMA A: Süpermen'in kütlesi 91 kg dır ve ışık hızının beşte biri hızla hareket etmektedir. Eğer Süpermen'in hızındaki belirsizlik % 1,5 ise, konumundaki belirsizlik ne kadardır?

ALIŞTIRMA B: Konumu 24 nm belirsizlikle bilinen bir proton demetinin, hızındaki belirsizlik nedir?

8-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Bir elektronun kütlesi protonun kütlesinin yaklaşık 1/2000 i kadardır. Proton ve elektronun aynı dalgaboyuna sahip olduklarını varsayarak hızlarını karşılaştırınız.

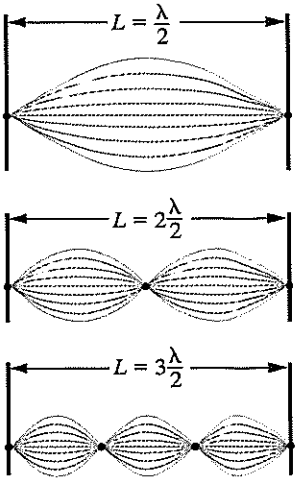
8-6 Dalga Mekaniği

De Broglie bağıntısı elektronların maddesel dalgalar olduğunu ve bu nedenle dalgaya benzer özellikler göstermesi gerektiğini öngörmektedir. Bu dalga-tanecik ikiliğinin sonucu olarak, Heisenberg'in belirsizlik ilkesi uyarınca, elektronun konumu ve momentumu ancak sınırlı bir kesinlikle tayin edilebilir. Bu durumda elektronlara nasıl bakılmalıdır? Bu soruyu yanıtlamak için iki tür dalganın tanımlanması ile işe başlanmalıdır.

Durağan Dalgalar

Rüzgar okyanus yüzeyinde çok uzak mesafelere gidebilen, dalgalar üretir. Bunlar *hareketli dalgalar* olarak adlandırılırlar. Şekil 8-1 de gösterilen hareketli dalgada, çok uzun bir ipin her parçası birbirine eşdeğer aşağı-yukarı salınımlarla yürür. Dalga enerjiyi ipin tüm uzunluğu boyunca aktarır. Diğer bir dalga türü de, Şekil 8-18 de gösterilen gitar telinin titreşiminde görülmektedir.

Telin her bir noktası, bir aşağı bir yukarı hareketle yer değiştirmekte ve mavi çizgilerle sınırlanmış bölgede titreşim veya salınım yapmaktadır. Bu dalgaların önemli görünümü, tepe ve çanaklarının sabit konumda bulunması ve telin bağlı bulunan uçlarında genliklerin sıfır olmasıdır. Titreşimin genliği dalgaboyunca, bir noktadan diğer noktaya değişir; *düğüm noktası* olarak adlandırılan belli noktalarda ise tam bir yer değiştirme hareketi olmaz. Bu özelliklere sahip dalgalara **durağan dalgalar** denir.



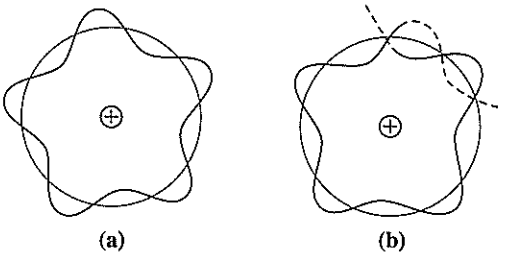
▲ ŞEKİL 8-18
Bir ipteki durağan dalgalar
İp çekilip bırakılarak harekete geçirilebilir. Mavi çizgiler, her bir durağan dalganın yer değiştirme aralığının sınırlarını belirler. Dalgaboyu, ipin uzunluğu ve düğüm sayısı (yer değiştirmeyen noktalar) arasındaki bağıntı (8.12) eşitliği ile verilmiştir. Düğümler koyu noktalarla işaretlenmiştir.

Durağan dalgaların izin verilen dalgaboylarının kuantlaşmış olduğunu söyleyebiliriz. Dalga boyları ipin boyunun (L) bir tam sayıya (n) bölünmesi ile elde edilen değerin iki katına eşittir. Yani,

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad \text{burada } n=1, 2, 3\ldots \text{ olup, toplam düğüm sayısı} = n + 1 \text{ dir.} \qquad (8.12)$$

Çekilip bırakılan gitar teli tek boyutlu durağan dalgayı temsil eder ve bir Bohr yörüngesindeki elektronun davranışına benzer. Bohr bir elektronun dairesel bir yörüngede durağan olması için, sürekli bir dalga hareketine sahip olması gerektiğini ve bütün dalga boylarının Şekil 8-19 da gösterildiği gibi orbital yörüngesine uygun olması gerektiğini ileri sürmüştür. Bohr yörüngeleri bir boyutludur ve bu nedenle Bohr modelinde bir

▶ Çalınan bir davul, iki boyutlu durağan bir dalga oluştururken, küresel bir zilin çınlaması üç boyutlu durağan bir dalga hareketi yapar.



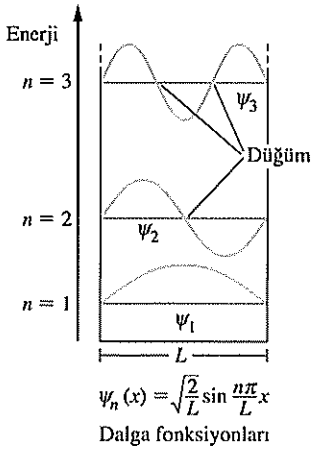
▲ ŞEKİL 8-19
Maddesel dalga olarak elektron
Bu modeller, çok daha karmaşık olan üç boyutlu dalganın iki boyutlu kesitleridir. **(a)** daki dalga modeli, *bir durağan dalganın* kabul edilebilir gösterimidir. Dalga, çekirdeği dalga boyunun tam sayılık katı (beş) ile çevreler; peşpeşe gelen dalgalar birbirini iterler **(b)** deki model kabul edilemez bir gösterim şeklidir. Çekirdeğin çevresindeki yol dalgaboyunun tamsayılık katı değildir ve peşpeşe gelen dalgalar birbirinden kopmaya itilir; yani dalganın bir parçasındaki tepe, diğer parçasındaki çanağın üzerine biner ve dalga söner.

dizi eksikler görülür. Örneğin hidrojen atomundaki elektronların maddesel dalgaları üç boyutlu olmalıdır.

Kutudaki Tanecik: Durağan Dalgalar, Kuantum Tanecikleri ve Dalga Fonksiyonları

UNUTMAYINIZ
Çember, bütün noktaları merkeze aynı uzaklıktaki noktalardan oluşan tek boyutlu bir şekildir. Bu nedenle, çemberi tanımlamak için bir yarıçap yeterlidir.

1927 yılında, titreşim kuramı ve durağan dalgalar alanında bir uzman olan Erwin Schrödinger dalgaya benzer özellikler gösteren bir elektronun (veya başka bir taneciğin) **dalga fonksiyonu** olarak adlandırılan ve Yunan alfabesindeki psi, ψ harfi ile simgelenen bir matematiksel denklem ile tanımlanabileceğini önerdi. Dalga fonksiyonu, tanımlanmış olan sistemin sınırları içerisindeki bir durağan dalganın karşılığı olmalıdır. Bir dalga fonksiyonunu yazabileceğimiz en basit sistem, kapalı bir kutu içinde tek yönde hareket eden taneciği temsil eden bir boyutlu sistemdir. "Kutudaki tanecik" olarak adlandırılan bu sistemin dalga fonksiyonu bir gitar telininkine benzer (Şekil 8-18); yalnız bu sistemde bir taneciğin maddesel dalgaları söz konusudur. Tanecik kutu içinde hapsedilmiş olduğundan dalgalar da, Şekil8-20 de gösterildiği gibi, kutu içinde kalmalıdır.



▲ ŞEKİL 8-20
Tek boyutlu kutudaki taneciğin durağan dalgaları
İlk üç dalga fonksiyonu ve bunların enerjileri, kutudaki taneciğin konumuna bağlıdır. Düğüm noktalarında dalga fonksiyonunun işareti değişir.

Kutunun uzunluğu L ise ve tanecik x doğrultusunda hareket ediyorsa, durağan dalga için yazılacak denklem bir sinüs fonksiyonu olacaktır.

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}}\sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) n = 1, 2, 3, \ldots \qquad (8.13)$$

Burada kuantum sayısı olarak adlandırılan n tamsayısı dalga fonksiyonunu işaret eder.

Bu dalga fonksiyonu bir sinüs fonksiyonudur. $n = 2$ halini göz önüne alarak bunu örneklendirirsek

$x = 0,$	$\sin 2\pi x/L = \sin 0 = 0,$	ve $\psi_n(x) = 0$
$x = L/4,$	$\sin 2\pi\ (L/4)/L = \sin \pi/2 = 1,$	ve $\psi_n(x) = (2/L)^{1/2}$
$x = L/2,$	$\sin 2\pi\ (L/2)/L = \sin \pi = 0,$	ve $\psi_n(x) = 0$
$x = 3\ L/4$	$\sin 2\pi\ (3\ L/4)/L = \sin 3\pi/2 = -1$	ve $\psi_n(x) = -(2/L)^{1/2}$
$x = L$	$\sin 2\pi(L)/L = \sin 2\pi = 0,$	ve $\psi_n(x) = 0$

Kutunun bir ucunda $(x = 0)$ hem sinüs fonksiyonu hem de dalga fonksiyonu sıfırdır. Kutunun uzunluğunun dörtte birinde $(x = L/4)$ dalga fonksiyonu ve sinüs fonksiyonu maksimum değerlerine erişirler. Kutunun ortasında her ikisi de yeniden sıfır olur ve dalga fonksiyonu bir düğüm noktasına sahip olur. Kutu uzunluğunun dörtte üçünde her iki fonksiyon minimum değere erişir (negatif değerler) ve kutunun sonunda her iki fonksiyon tekrar sıfır olur.

8-4 MERAK EDİYORSANIZ...

(8.13) eşitliği nasıl elde edildi?

(8.13) eşitliğine nasıl ulaşıldığı sorusunun yanıtı, dalga fonksiyonu ve sadece kuantum mekaniksel taneciklerle sınırlı eşitlikte yatar. Kutudaki tanecik modelinde elektronun kutu içerisinde serbest olduğu varsayılır. Bu, dalga fonksiyonunun kutu içinde durağan bir dalga olacağı anlamına gelir. Eğer diferansiyel işlemlere aşina iseniz, bir diferansiyel denklem eşitliği olan aşağıdaki denklemi algılayabileceksiniz. Özellikle, kutudaki tanecik basit sistemi tek boyutlu durağan bir dalga ile açıklanabilir. Bu denklemin çözümü sistem için bir dalga fonksiyonudur.

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \psi$$

Dalga eşitliğine dikkat ediniz: Dalga fonksiyonunu iki kez diferansiyelini alarak dalga fonksiyonunu bir sabitin katları şeklinde elde ederiz. Çoğu fonksiyon bu şekilde çözülür. Örneğin, bu özelliğe sahip iki trigonometrik fonksiyon sinüs ve kosinüs fonksiyonlarıdır. Öncelikle, $\psi = A\cos(ax)$ i ele alalım ve x e karşılık iki kez diferansiyelini alalım

$$\frac{d\psi}{dx} = -aA\sin(ax)$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -a^2A\cos(ax) = -a^2\psi$$

Burada $a = (2\pi/\lambda)$ yazarak, keyfi faktör A yı elde ederiz. İkinci olarak, sinüs fonksiyonu için;

$$\frac{d\psi}{dx} = aA\cos(ax)$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -a^2A\sin(ax) = -a^2\psi$$

eşitliğini yazılabilir.

Böylelikle, bu yaklaşımla her iki fonksiyon çözülebilir. Bununla beraber, fonksiyon, kutudaki durağan bir dalganın davranışını temsil etmeli ve kutunun kenarlarında sıfır olmalıdır. $x = 0$ iken, $\cos 0 = 1$ ve $\sin 0 = 0$ dır ve bu yüzden sinüs fonksiyonu uygun fonksiyondur. A nın belirlenmesi çok kolay değildir ve A nın değerini bulmak için dalga fonksiyonunu nasıl yorumlamamız gerektiğini bilmemiz gerekir. Bu işlemi yaparken, dalga fonksiyonunun doğru biçimine karar vermemize yardımcı olmak için sistemin sınır hallerini kullanıyoruz. Bu, kuantum mekaniksel problemlerin çözümünde kullanılan yaygın bir yöntemdir.

Son olarak, $a = (2\pi / \lambda)$ denkemini düzenleyerek , (8.12) eşitliğindeki durağan dalga koşulu için kullanırsak

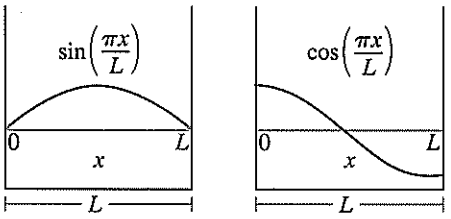
$$a = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{2L/n} = \frac{n\pi}{L}$$

eşitliği elde ederiz ve fonksiyon

$$\psi_n = A\sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

şeklini alır. Burada n kuantum sayılarını ($n = 1, 2, 3, 4...$) ifade eder.

(devam ediyor)



Resimde, kutudaki tanecik için, bir kosinüs fonksiyonunun neden kabul edilebilir bir çözüm olmadığı gösterilmiştir. Sinüs fonksiyonu kutunun kenarlarında uygun bir biçimde sıfıra giderken, kosinüs fonksiyonu sıfıra gitmez.

Kuantum sayısı ve dalga fonksiyonu ile ne sonuç çıkarabiliriz? Öncelikle kuantum sayısı n i ele alalım. Onu ne ile ilişkilendirebiliriz? Söz konusu olan tanecik aşağıdaki eşitlikle verilen bir kinetik enerji ile serbestçe hareket ediyor (bir dış kuvvetin etkisi olmaksızın) olsun,

$$E_k = \frac{1}{2}mu^2 = \frac{m^2u^2}{2m} = \frac{p^2}{2m} \tag{8.14}$$

Bu kinetik enerjiyi bir dalga ile birleştirmek için de Broglie bağıntısı ($\lambda = h/p$) kullanılabilir.

$$E_k = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

Maddesel dalgaların dalgaboyları, daha önce gitar telindeki duran dalgalar için anlatıldığı gibi, aynı durağan dalga haline uymak zorundadır (8.12 eşitliği). Maddesel dalganın (8.12) eşitliğindeki dalgaboyu, dalganın enerjisi için yazılan denklemde yerine konursa, aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$E_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2} = \frac{h^2}{2m(2L/n)^2} = \frac{n^2h^2}{8mL^2}$$

Böylece duran dalga halinin dalganın enerjisinde kuantlaşmaya neden olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu enerji, kuantum sayısı n tarafından belirlenen izin verilen değerler alabilir. Ayrıca, kutunun boyu kısaldıkça taneciğin enerjisinin arttığı ve belirsizlik ilkesine göre momentumun değerinin daha az belirlenebilir hale geldiği unutulmamalıdır. Unutulmaması gereken son nokta, taneciğin enerjisinin *sıfır olmayacağıdır*. En düşük enerji $n = 1$ için olup, buna **sıfır-noktası enerjisi** denir. Sıfır-noktası enerjisi sıfır olmayacağından tanecik hiçbir zaman hareketsiz kalamaz. Bu gözlem belirsizlik ilkesi ile uyum içindedir, çünkü konum ve momentum aynı zamanda belirlenememelidir. Oysa hareket halinde olmayan bir tanecik için belirlenemeyen bir şey yoktur.

Kutudaki tanecik modeli enerjinin kuantlaşmasının nedenini açıklamada yardımcı olur, fakat dalga fonksiyonu, ψ nasıl açıklanacaktır? Dalga fonksiyonunun negatif ve pozitif değerler alabilmesi ne anlama gelir? Gerçekte bir taneciğin dalga fonksiyonu klasik tanecik yörüngesine benzemez ve fiziksel bir anlam ifade etmez. Bu nedenle faklı bir yaklaşım gerekmektedir ve 1926 yılında Alman fizikçi Max Born bir öneride bulunmuştur. Elektron bir tanecik olarak kabul edildiğinde elektronun bazı belirli noktalarda *bulunma olasılığı*, elektron dalga olarak kabul edildiğinde ise *elektronun yük yoğunluğu* ön plana çıkar. Klasik bir dalgada (örneğin görünür ışık), dalganın genliğinin karşılığı ψ ve şiddetinin karşılığı ψ^2 dir. Şiddet foton yoğunluğuna (bir bölgede bulunan foton sayı-

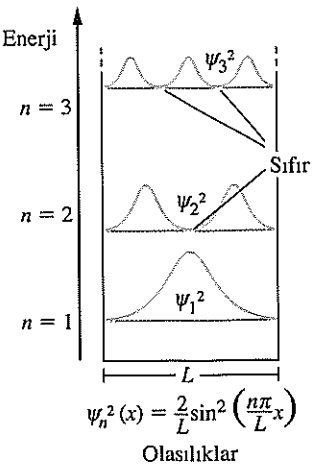
sına) bağlıdır. Bu durumda bir elektron dalgası söz konusu ise ψ^2 elektron yük yoğunluğuna bağlıdır. Elektronun bulunma olasılığı elektron yük yoğunluğu ile orantılıdır ve bu değerlerin her ikisi de ψ^2 ile ilişkilidir. Böylece dalga fonksiyonunun Born yaklaşımında ψ^2 nin değeri, elektronun küçük bir hacimde bulunma olasılığının ölçüsüdür ve elektronun söz konusu küçük hacimde bulunabilmesinin toplam olasılığı bu hacimin ψ^2 katı kadardır. ψ^2 ye elektronun olasılık yoğunluğu denir.

Şimdi tekrar bir kutu içinde tek boyutta hareket eden taneciği göz önüne alalım ve dalga fonksiyonlarının olasılıklarına bakalım. Bu durum Şekil 8-21 de görülmektedir. Öncelikle dalga fonksiyonunun negatif olduğu yerlerde bile olasılık yoğunluğunun, tüm durumlarda olduğu gibi, pozitif değerler alacağını vurgulamak gerekir. Daha sonra da n= 1 için dalga fonksiyonunun olasılık yoğunluğunu göz önüne alalım. ψ^2 nin en yüksek değer aldığı yer kutunun ortasıdır; yani taneciğin en çok bulunma olasılığı olan yer burasıdır. n= 2 durumunda ise olasılık yoğunluğu, taneciğin bulunabilme olasılığının kutunun merkezi ile kutunun uçları arasında olduğunu göstermektedir.

Kutudaki tanecik modelinde son olarak dikkate alınacak husus, modeli üç boyutlu kutu için geliştirilmesidir. Üç boyutlu kutudaki tanecik, üç doğrultuda da hareket edebilir (x, y ve z) ve enerjinin kuantlaşması aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$E_{n_x n_y n_z} = \frac{h^2}{8m}\left[\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} + \frac{n_z^2}{L_z^2}\right]$$

Bu bağıntıda her boyut için bir kuantum sayısı vardır. Şimdi, bu kutudaki tanecik düşüncesini kullanarak, hidrojen atomunun kuantum mekaniği probleminin çözümünü inceleyebiliriz.



▲ ŞEKİL 8-21
Tek boyutlu kutudaki taneciğin olasılıkları
İlk üç dalga fonksiyonunun kareleri ve enerjileri taneciğin kutu içerisindeki konumuna bağlı olarak gösterilmiştir. Taneciğin ψ^2= 0 noktasında bulunma olasılığı yoktur.

ÖRNEK 8-8 Tek Boyutlu Kutudaki Taneciğin Dalga Fonksiyonlarının Kullanımı

n= 5 seviyesindeki bir elektronun 150 pm uzunluğunda tek boyutlu kutunun içinde 0 pm ile 30 pm aralığında bulunma olasılığı yüzde olarak ne kadardır?

Analiz

Eğer bir elektron n = 5 seviyesinde ise, onu bu seviyede bulma olasılığımız %100 dür. n = 5 için 30 pm aralıklarla 4 boğum vardır ve 150 pm uzunluğunda tek boyutlu kutuda ψ^2 de 15 pm, 45 pm, 75 pm 105 pm ve 135 pm noktalarında 5 maksimum vardır.

Çözüm

30 pm lik mesafe dalga fonksiyonunda bir boğuma karşılık gelir ve bunlardan dört tane vardır (kutudaki son noktayı düğüm olarak saymayın). ψ^2 değerinin 0 ve 30 pm aralığındaki toplam bölge bütün olasılığın % 25 ini oluşturur. Yani 0 pm ve 30 pm aralığında elektronun bulunma olasılığı % 25 tir.

Değerlendirme

Hatırlamamız gerekir ki, gözönünde bulundurduğumuz tanecik dalga-tanecik ikiliği gösterir. Bu yüzden taneciğin boğumun bir tarafından diğer tarafına nasıl geçtiğini sormak gereksizdir (ama bu klasik tanecikler için yerinde bir sorudur). Bütün bildiğimiz şey şudur: örneğin, n = 5 halinde tanecik kutu içerisinde herhangi bir yerdedir. Bir ölçüm yaptığımızda, taneciği düğümün herhangi bir tarafında bulabiliriz. 0 ve 30 pm arasında bizim taneciği bulma olasılığımız % 25 tir ve maksimum şans 15 pm de gerçekleşir

ALIŞTIRMA A: n = 6 seviyesindeki bir elektronun 150 pm uzunluğunda tek boyutlu kutunun içinde 50 pm ile 75 pm aralığında bulunma olasılığı yüzde olarak ne kadardır?

ALIŞTIRMA B: Bir tanecik 300 pm uzunluğunda tek boyutlu kutu içerisine hapsediliyor. n = 3 hali için hangi noktalarda taneciğin bulunma olasılığı sıfırdır? (Kutunun kenar noktalarını hesaba katmayınız)

ÖRNEK 8-9 Kutudaki Taneciğin Geçiş Enerjisinin ve Foton Dalgaboyunun Hesaplanması

$1{,}00 \times 10^2$ pm uzunluğunda tek boyutlu bir kutunun içindeki bir elektronun temel hal ile birinci uyarılmış hali arasındaki enerji farkı ne kadardır? Elektronu temel halden birinci uyarılmış hale uyaran fotonun dalgaboyunu hesaplayınız.

Analiz

n seviyesinde bir elektronun enerjisi (E_n)

$$E_n = \frac{n^2h^2}{8mL^2}$$

E_n ve E_{n+1} çıkarma olarak ifade edebiliriz, daha sonra bu değerleri h, m ve L için yerine koyarız. n =1 temel hali, n =2 ilk uyarılmış hali ifade eder. Son olarak Planck eşitliğinden ve $c = \lambda\nu$ den fotonun dalgaboyunu hesaplayabiliriz.

Çözüm

n =1 ve n =2 halleri için enerji;

$$E_{\text{temel hal}} = E_1 = \frac{h^2}{8mL^2}(1^2)$$

$$E_{\text{birinci uyarılmış hal}} = E_2 = \frac{h^2}{8mL^2}(2^2)$$

Enerji farkı ise;

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{3h^2}{8mL^2}$$

Elektronun kütlesi $9{,}109 \times 10^{-31}$ kg, Planck sabiti $h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J s ve kutunun boyu $1{,}00 \times 10^2$ pm (hatırlarsak 1 pm = 10^{-12} m) dir. Bu değerleri eşitlikte yerlerine yazarsak;

$$\Delta E = \frac{3(6{,}626 \times 10^{-34}\,\text{J s})^2}{8(9{,}109 \times 10^{-31}\,\text{kg})(1{,}00 \times 10^{-10}\,\text{m})^2} = 1{,}81 \times 10^{-17}\,\text{J}$$

elde ederiz. Planck sabitini ve foton enerjisi olarak bu değeri kullanarak, fotonun frekansını ve daha sonra da dalgaboyunu hesaplayabiliriz. Bu adımların birleşiminden sonuca gideriz.

$$\lambda = \frac{hc}{E_{\text{foton}}} = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6{,}626 \times 10^{-34}\,\text{J s} \times 3{,}00 \times 10^8\,\text{m s}^{-1}}{1{,}81 \times 10^{-17}\,\text{J}} = 11{,}0 \times 10^{-9}\,\text{m} = 11{,}0\,\text{nm}$$

Değerlendirme

Fotonun enerjisine kJ mol^{-1} biriminde ihtiyaç duysaydık, $1{,}8 \times 10^{-17}$ sayısını 10^{-3} kJ/J ve $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}$ mol^{-1} değeri ile çarpmamız gerekecekti.

ALIŞTIRMA A: $5{,}0 \times 10^1$ pm uzunluğunda bir kutunun içinde bulunan bir elektronun n = 5 seviyesinden n = 3 seviyesine düşmesi sırasında yayılan fotonun dalgaboyunu hesaplayınız?

ALIŞTIRMA B: 24,9 nm dalgaboyundaki bir foton tek boyutlu kutudaki bir elektronu temel halden birinci uyarılmış hale uyarıyor. Kutunun boyutunu yaklaşık olarak hesaplayınız.

8.6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Tek boyutlu kutuda bir taneciğin, kutunun her bir kenarından dörtte biri mesafede bulunma olasılığı hangi seviyede (n değeri) en fazladır?

Hidrojen Atomunun Dalga Fonksiyonu

1927 de Schrödinger kuantum mekaniği ile ilgili sistemlerin dalga fonksiyonlarının, **Schrödinger denklemi** denen bir dalga fonksiyonunun çözümü ile elde edilebileceğini göstermiştir. Burada Schrödinger denkle-



8-5 MERAK EDİYORSANIZ...

Hidrojen atomunun Schrödinger denklemi nasıldır?

Schrödinger eşitliğini elde etmek için, tek boyutta durağan bir dalgaya ait eşitlikten başlayalım:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \psi$$

yazılabilir

Sonraki adımda, de Broglie bağıntısı, bir dalganın dalga boyuna ait denklemde yerine konularak:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\left(\frac{2\pi}{h}p\right)^2 \psi$$

bulunur.

Son olarak, momentum ve kinetik enerji arasındaki bağıntı (8.14) kullanılarak

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\frac{d^2\psi}{dx^2} = E_k\psi$$

eşitliği elde edilir. Bu denklem tek doğrultuda hareket eden serbest bir taneciğe ait Schrödinger denklemidir. Eğer tanecik bir $V(x)$ kuvvetinin etkisi altında ise denklem

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi = E_{\text{toplam}}\psi$$

şeklini alır. Bu işlem üç boyutlu sistem için yapıldığında hidrojen atomu için veya hidrojene benzeyen iyonlar için Schrödinger denklemi elde edilir. Buradaki $V(r)$ kuvveti çekirdek ile elektron arasındaki çekim kuvveti olup $(-e)(Ze)/4\pi\epsilon_0 r)$ dir. Bir elektron (yük = $-e$) ile, bir atom veya bir iyon (yük = Ze) çekirdeği arasındaki etkileşimden kaynaklanan potansiyel enerji (bakınız Ek B, sayfa B-4).

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m_e}\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right) - \frac{Ze^2}{r}\psi = E\psi$$

eşitliğiyle ifade edilir. Bu, Schrödinger'in elde ettiği denklemdir. Yukarıdaki eşitlikte, $\partial^2\psi/\partial x^2$, diğer paremetreleri ($y$ ve z) sabit tutarak x e karşılık ψ nin iki kez diferansiyelini alabileceğimiz anlamına gelir. Birden fazla değişkene bağlı olduğu için $\partial^2\psi/\partial x^2$ öğesi $d^2\psi/dx^2$ nin yerine kullanılabilir.

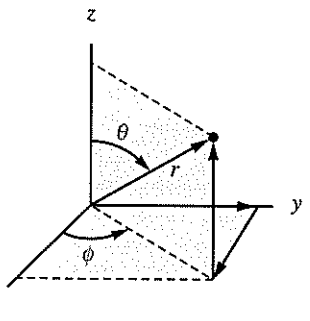
Eugene Wigner'in önerisinden sonra, Schrödinger, denklemi çözmek için burada gösterilen Kartezyen kordinatları yerine küresel polar koordinatları kullandı. Yani, Schrödinger Şekil 8-22 nin altında gösterildiği gibi, küresel polar kordinat sisteminde x, y ve z değerlerini değiştirdi ve r, θ, ve ϕ değişken değerlerini toplamak için gerekli ayrıntılı cebirleri elde etti. Son eşitlik;

$$-\frac{h^2}{8\pi^2\mu r^2}\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\psi}{\partial r}\right) + \frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\psi}{\partial\theta}\right) + \frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2\psi}{\partial\phi^2}\right] - \frac{Ze^2}{r}\psi = E\psi$$

şeklinde ifade edildi. Burada elektronun kütlesi, daha doğru olan atomum indirgenmiş kütlesi, μ; ile değiştirilmiştir. Yani;

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_{\text{çekirdek}}}$$

dir. Bu, atom numarası Z olan hidrojen-benzeri iyonlar için veya Z = 1 durumunda hidrojen atomu için küresel polar koordinatlardaki Schrödinger eşitliğidir. Çözümler sayfa 327 de Çizelge 8.1 de gösterilmiştir.



Küresel polar koordinatlar
$x^2 + y^2 + z^2 = r^2$
$x = r \sin\theta \cos\phi$
$y = r \sin\theta \sin\phi$
$z = r \cos\theta$

▲ ŞEKİL 8-22
Küresel polar koordinatlar ile Kartezyen koordinatları arasındaki bağıntı
x, y ve z koordinatları, r mesafesi ile θ ve ϕ açıları cinsinden yazılmıştır.

minin çözümünün ayrıntısına girilmeyecek, yalnızca yukarıda söz konusu edilen düşüncelerin açıklanması ve tanımlanması için kullanılacaktır.

Hidrojen atomu için Schrödinger denkleminin çözümü, hidrojen atomundaki elektronun dalga fonksiyonlarını verir. Bu dalga fonksiyonlarına, Bohr kuramındaki yörüngelerden (orbit) ayırt etmek için, **orbital** adı verilir. Bu orbitallerin matematiksel yapısı kutudaki tanecik için yazılandan çok daha karmaşıktır; fakat burada derin ayrıntıya girmeksizin basit yoldan anlatılacaktır.

Dalga fonksiyonları, bir noktanın çekirdeğe göre konumunu tanımlamak için gereken *üç* değişken yardımı ile çok daha kolay incelenirler. Kartezyen koordinat sisteminde bu üç değişken *x*, *y* ve *z* boyutlarıdır. Küresel polar koordinat sisteminde ise bu değişkenler; noktanın çekirdeğe uzaklığı *r*, çekirdek ve bu noktadan geçen doğrunun *x*, *y* ve *z* eksenlerine göre konumunu gösteren, θ (teta) ve ϕ (fi) açılarıdır (Şekil 8.22). Schrödinger denkleminin çözümünde bu iki koordinat sisteminden herhangi biri kullanılabilir. Bununla birlikte Kartezyen koordinat sisteminde orbitaller *x*, *y* ve *z* değişkenlerinin tümünü kapsarken, küresel polar sistemde orbitaller, yalnızca *r* ye bağımlı *R* fonksiyonu ve θ ve ϕ'ye bağımlı ψ fonksiyonu ile gösterilebilirler. Yani

$$\psi(r, \theta, \phi) = R(r)\, Y(\theta, \phi)$$

$R(r)$ fonksiyonu **radyal dalga fonksiyonu**, $Y(\theta, \phi)$ fonksiyonu ise **açısal dalga fonksiyonu** olarak adlandırılır. Hidrojen atomu üç boyutlu bir sistem olduğundan, her bir orbitali tanımlayan üç kuantum sayısı vardır. Özgün bir kuantum sayıları grubu, $R(r)$ ve $Y(\theta, \phi)$ fonksiyonlarının özgün şekli ile verilir.

Olasılık yoğunlukları ve bu yoğunlukların dağılımı bu fonksiyonlardan çıkarılabilir. Öncelikle kuantum sayıları ve bunların tanımladığı orbitalleri, sonra, orbitallere eşlik eden olasılık yoğunluklarının dağılımını inceleyeceğiz.

8-7 Kuantum Sayıları ve Elektron Orbitalleri

Önceki kesimde bir dalga fonksiyonundaki (ψ) *üç* kuantum sayısını belirleyerek bir orbital elde edebileceğimizi söylemiştik. Burada ise farklı orbitaller oluşturan kuantum sayılarının birleşimini inceleyeceğiz. Bu nedenle, öncelikle üç kuantum sayısının özellikleri hakkında daha fazla bilgi edinmemiz gerekiyor.

Kuantum Sayılarının Belirlenmesi

Üç kuantum sayısı ile ilgili aşağıdaki verilen ilişkiler, hidrojen atomu için Schrödinger dalga denkleminin çözümünden elde edilmiştir. Bu çözümde, kuantum sayılarının değerleri aşağıda *sıralanan düzen* içerisinde sabit tutulmuştur.

Belirlenecek ilk sayı *baş kuantum sayısı*, *n* olup, bunlar *sıfırdan büyük tam sayılardır.*

$$n = 1, 2, 3, 4, \ldots \qquad (8.15)$$

İkincisi ise, *orbital açısal momentum kuantum* sayısı, ℓ olup, bunlar *sıfır dahil pozitif tamsayılardır,* ancak hiçbir zaman *n*–1 den (*n*, baş kuantum sayısı) büyük olamazlar.

$$\ell = 0, 1, 2, 3, \ldots n\text{-}1 \qquad (8.16)$$

Üçüncüsü ise *manyetik kuantum sayısı*, m_ℓ dir. m_ℓ nin değeri sıfır dahil $-\ell$ den $+\ell$ ye (ℓ orbital açısal momentum kuantum sayısıdır) kadar tam sayılar olabilir.

$$m_\ell = -\ell, (-\ell + 1), \ldots, -2, -1, 0, 1, 2 \ldots, (\ell - 1), +\ell \qquad (8.17)$$

ÖRNEK 8-10 Kuantum Sayıları Arasındaki İlişki

Bir orbitalin kuantum sayıları $n = 2$, $\ell = 2$ ve $m_\ell = 2$ olabilir mi?

Analiz

Verilen kuantum sayılarının (8.15), (8.16) ve (8.17) eşitliklerindeki kurallara uyup uymadığını belirlememiz gerekir.

Çözüm

Cevap, olamaz. Çünkü, ℓ kuantum sayısı hiçbir zaman n–1 den daha büyük değer alamaz. Bu durumda $n = 2$ olduğu zaman ℓ değeri 0 ya da 1 olabilir. ℓ yalnızca 0 ya da 1 olabileceğine göre, m_ℓ değeri 2 olamaz. $\ell = 0$ ise $m_\ell = 0$, $\ell = 1$ ise, $m_\ell = -1$, 0 ya da +1 olabilir.

Değerlendirme

Hem kuantum sayıları arasındaki ilişkiyi hem de farklı kuantum sayılarının fiziksel açıdan ne anlam ifade ettiğini aklımızda tutmamız gerekir. n kuantum sayısı radyal dağılımı ve elektronun yaklaşık olarak *uzaklığını* ifade etmektedir. Bunun sonucu olarak da n kuantum sayısı elektronun *enerjisinin* belirlenmesinde çok önemlidir. ℓ kuantum sayısı orbitalin açısal dağılımını veya diğer bir ifadeyle orbitalin şeklini ifade eder. Daha sonra göreceğimiz gibi kuantum sayıları arasındaki ilişki kabuk ve altkabuktaki orbitallerin mantıklı bir şekilde düzeni ile alakalı bilgiler vermektedir.

ALIŞTIRMA A: Bir orbital, $n = 3$, $\ell = 0$ *ve* $m_\ell = 0$ kuantum sayılarına sahip olabilir mi?

ALIŞTIRMA B: $n = 3$ *ve* $m_\ell = -1$ olan bir orbital için, ℓ hangi değerleri alabilir?

Baş Kabuklar ve Alt Kabuklar

Aynı n değerine sahip tüm orbitaller aynı **baş kabukta** veya aynı **ana enerji düzeyindedirler,** aynı n ve ℓ değerine sahip orbitaller ise aynı **alt kabukta** veya **alt enerji düzeyindedir.**

Baş elektronik kabuklar n in değerine göre numaralanırlar. İlk baş kabuk n= 1 değerine sahip orbitallerden ve ikinci baş kabuk $n = 2$ değerine sahip orbitallerden oluşur. Diğerleri de benzer şekilde devam edip gider. n in değeri enerjiye, daha da büyük olasılıkla elektronun çekirdekten uzaklığına bağlıdır. n in değeri büyüdükçe enerji ve elektronun çekirdekten ortalama uzaklığı artar. Bu yüzden baş kuantum sayısı, fiziksel açıdan diğer kuantum sayıları kadar önemlidir. ℓ kuantum sayısı bir orbitalin açısal dağılımını veya *şeklini* ifade ederken, m_ℓ kuantum sayısı orbitallerin *yönelimini* belirler.

Bir baş kabuktaki alt kabuk sayısı, orbital açısal momentum kuantum sayısı ℓ in alabileceği değerle aynıdır. $n = 1$ değerine sahip birinci kabukta ℓ yalnızca sıfır değerini alabilir ve bu nedenle tek bir alt kabuk vardır. İkinci baş kabukta ($n = 2$), $\ell = 0$ ve 1 olabileceğinden iki alt kabuk; üçüncü baş kabukta ($n = 3$) ise $\ell = 0$, 1 ve 2 olabileceğinden üç alt kabuk bulunur. Bundan sonraki baş kabuklar için de durum benzer şekilde devam eder. Bu konu daha basit olarak şu şekilde de belirtilebilir; ℓ kuantum sayısı 0 dahil (n–1) e kadar değerler alabildiğine göre alt kabuk sayısı baş kuantum sayısı n e eşittir. Sonuç olarak $n = 1$ olduğunda bir alt kabuk, $n = 2$ olduğunda 2 alt kabuk vb. şekilde alt kabuk sayısı belirlenir. Bir alt kabuğa verilen ad, içinde bulunduğu baş kabuğa bağlı olmayıp, ℓ kuantum sayısına bağlıdır. İlk 4 alt kabuk şu şekilde adlandırılır:

s alt kabuğu	*p alt kabuğu*	*d alt kabuğu*	*f alt kabuğu*
$\ell = 0$	$\ell = 1$	$\ell = 2$	$\ell = 3$

Bir alt kabuktaki orbital sayısı, belirli bir ℓ sayısı için izin verilen m_ℓ sayısına eşittir. İzin verilen m_ℓ değerlerinin 0, ±1, ±2, ... ±ℓ olabileceği dikkate alındığında, bir alt kabuktaki toplam orbital sayısının $2\ell + 1$ olacağı görülecektir. Orbitallerin adı bulundukları alt kabukların adı ile aynıdır.

s orbitalleri	*p orbitalleri*	*d orbitalleri*	*f orbitalleri*
$\ell = 0$	$\ell = 1$	$\ell = 2$	$\ell = 3$
$m_\ell = 0$	$m_\ell = 0, \pm 1$	$m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2$	$m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$
s alt kabuğunda bir *s* orbitali	*p* alt kabuğunda üç *p* orbitali	*d* alt kabuğunda beş *d* orbitali	*f* alt kabuğunda yedi *f* orbitali

Bir alt kabuk ya da orbital ile içinde bulunduğu baş kabuğu göstermek için bir harf ve bir sayının bileşiminden oluşan simgeler kullanılır. Örneğin, $2p$ simgesi ikinci baş kabuktaki p alt kabuğunu ve aynı zamanda alt kabuktaki üç p orbitalinden herhangi birini gösterir.

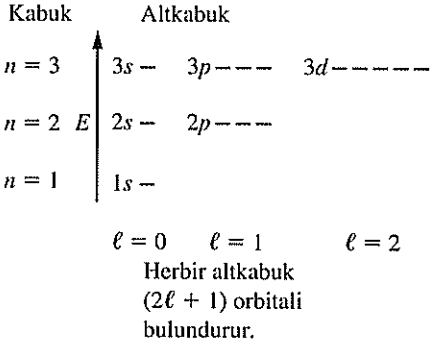
Hidrojen atomunun orbitallerinin enerjileri joule cinsinden aşağıdaki denklemle verilir.

$$E_n = -2.178 \times 10^{-18}\left(\frac{1}{n^2}\right) \text{J}$$

▶ Kesim 8-10 ve Bölüm 24'de göreceğimiz üzere, çok elektronlu atomların orbital enerjileri ℓ ve m_ℓ kuantum sayılarına da bağlıdır.

Bu denklem Bohr tarafından verilen (8.5) denkleminin aynısıdır. Hidrojen atomunda orbital enerjileri yalnızca baş kuantum sayısı n e bağlıdır. Bunun anlamı; bir alt kabuktaki tüm orbitallerin olduğu gibi, bir baş kabuktaki tüm alt kabukların da aynı enerji düzeyinde bulunduğudur. Aynı enerji düzeyindeki orbitallere **eşenerjili** orbitaller denir. Şekil 8-23 de hidrojen atomunun kabuk ve alt kabuklarının düzeni ve enerji diyagramı görülmektedir.

Aşağıdaki paragraflarda anlatılan bilgilerin bazıları Örnek 8-9 da gösterilmiştir.



▶ ŞEKİL 8-23
Hidrojen atomunun kabuk ve alt kabukları
Hidrojen atomunun orbitalleri kabuk ve alt kabuklara yerleşmiştir.

ÖRNEK 8-11 Orbitallerin Gösterimi ve Kuantum Sayıları Arasındaki İlişki

$n = 4$, $\ell = 2$ ve $m_\ell = 0$ kuantum sayılarına karşılık gelen bir orbital gösterimini yazınız.

Analiz

Orbital düzenini yazmak için kuantum sayıları n ve ℓ arasındaki ilişkiyi hatırlamanız gerekir. n kuantum sayısını sadece sayılarla ifade edilirken, ℓ kuantum sayıları için harflerle ifade edilen şu simgeleri kullanırız: $\ell = 0$, s; $\ell = 1$, p; $\ell = 2$, d ve bu şekilde devam eder.

Çözüm

Manyetik kuantum sayısı m_ℓ orbital gösteriminde yer almaz. Orbitalin türü ise, ℓ kuantum sayısı tarafından belirlenir. Örnekte $\ell = 2$ olduğundan orbital bir d orbitalidir. $n = 4$ olduğundan orbital $4d$ simgesi ile gösterilir.

Değerlendirme

Kuantum sayıları ile ilgili kuralları ve bu sayıların anlamlarını aklımızda tutmamız gerekir. Bu bilgiler bir sonraki bölüm için de önemlidir.

ALIŞTIRMA A: $n = 3$, $\ell = 1$ ve $m_\ell = 1$ kuantum sayılarının karşılığı olan orbitali gösteriniz.

ALIŞTIRMA B: $3s$ orbitali ile aynı enerjiye sahip olan ve hidrojen atomu orbitallerini tanımlayan kuantum sayılarının tüm kombinasyonlarını yazınız.

8-8 Hidrojen Atomu Orbitallerinin Gösterimi ve Yorumu

Üstünde durulması gereken önemli bir konu; hidrojen atomundaki değişik orbitallerin elde edilen üç boyutlu olasılık yoğunluğu dağılımının belirlenmesidir. Dalga fonksiyonlarına Born yaklaşımını (sayfa 320) kullanıp, elektronun bulunma olasılığı olan tüm yüzeyleri dikkate alarak, hidrojen atom orbitallerinin olasılık yoğunluğunu gösterebiliriz. Her orbital türü için olasılık yoğunluğunun kendine özgü bir şekli olduğu ve tüm dalgalarda olduğu gibi, yük yoğunluklarının da düğüm noktaları ve farklı faz davranışları bulunduğu görülecektir. Bu kesimi işlerken, her ne kadar orbitaller ile ilgili ilave nicel bilgeler verilse de birinci önceliğiniz nitel kavramları öğrenmek olmalıdır. Bu nitel kavramlar bir sonraki bölümde bahsedilecek olan kimyasal bir bağın oluşumunda orbitallerin nasıl bir girişim yaptığı konusu ile de yakından ilgilidir.

Yukarıdaki açıklamaların tamamında orbitaller, Schrödinger dalga denkleminin matematiksel çözümü ile ortaya çıkan, dalga fonksiyonları olarak kabul edilmiştir. Dalga fonksiyonunun kendisi fiziksel bir anlam taşımaz. Bununla birlikte, dalga fonksiyonunun karesi ψ^2 olasılıkla ilgili bir niteliktir. ψ^2 ye bağlı olan olasılık yük dağılımı üç boyutludur. Bu üç boyutlu bölgeler bir orbitalin şeklini oluştururlar.

◀ Bölüm 11 de, atomlar arasındaki bağlanmayı incelerken, ψ dalga fonksiyonunun nasıl kullandığını göreceğiz.

Hidrojene benzer tek elektronlu atomlar için, radyal dalga fonksiyonu $R(r)$ ve açısal dalga fonksiyonu $Y(\theta, \phi)$ nin olası biçimleri Çizelge 8.1 de verilmiştir.

ÇİZELGE 8.1 Hidrojene Benzer Atomların Açısal ve Radyal Dalga Fonksiyonları

Açısal Kısım $Y(\theta, \phi)$	Radyal Kısım $R_{n,\ell}(r)$
$Y(s) = \left(\frac{1}{4\pi}\right)^{1/2}$	$R(1s) = 2\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} e^{-\sigma/2}$
	$R(2s) = \frac{1}{2\sqrt{2}}\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2}(2-\sigma)e^{-\sigma/2}$
	$R(3s) = \frac{1}{9\sqrt{3}}\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2}(6-6\sigma+\sigma^2)e^{-\sigma/2}$
$Y(p_x) = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2}\sin\theta\cos\phi$	$R(2p) = \frac{1}{2\sqrt{6}}\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2}\sigma e^{-\sigma/2}$
$Y(p_y) = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2}\sin\theta\sin\phi$	$R(3p) = \frac{1}{9\sqrt{6}}\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2}(4-\sigma)\sigma e^{-\sigma/2}$
$Y(p_z) = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2}\cos\theta$	
$Y(d_{z^2}) = \left(\frac{5}{16\pi}\right)^{1/2}(3\cos^2\theta - 1)$	$R(3d) = \frac{1}{9\sqrt{30}}\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2}\sigma^2 e^{-\sigma/2}$
$Y(d_{x^2-y^2}) = \left(\frac{15}{16\pi}\right)^{1/2}\sin^2\theta\cos 2\phi$	
$Y(d_{xy}) = \left(\frac{15}{16\pi}\right)^{1/2}\sin^2\theta\sin 2\phi$	$\sigma = \frac{2Zr}{na_0}$
$Y(d_{xz}) = \left(\frac{15}{4\pi}\right)^{1/2}\sin\theta\cos\theta\cos\phi$	
$Y(d_{yz}) = \left(\frac{15}{4\pi}\right)^{1/2}\sin\theta\cos\theta\sin\phi$	

Bu çizelgede ilk göze çarpan şeyin, *s* orbitalleri için dalga fonksiyonunun açısal, $(1/4\pi)^{1/2}$, kısmının, baş kuantum sayısına bağlı olmaksızın, daima aynı olduğudur. Diğer bir olgu da *p* ve *d* orbitallerinin açısal kısmının da *n* kuantum sayısına bağlı olmadığıdır. Bu nedenle aynı türdeki (*s, p, d, f*) tüm orbitaller aynı açısal davranışı gösterirler. Çizelge 8.1 deki atom numarası Z nin yer aldığı denklemler genel denklemlerdir. Yani, bu denklemler, hidrojen atomu veya hidrojen atomuna benzer herhangi bir tek elektronlu iyona uygulanabilir. Ayrıca çizelgede geçen tüm ψ terimlerinin $2Zr/na_0$ a eşit olduğu vurgulanmalıdır.

Belirli bir hal için dalga fonksiyonu, açısal kısım ile radyal kısmın çarpılmasıyla elde edilir. Bunun uygulaması, aşağıda üç temel orbital ele alınarak anlatılmıştır.

s Orbitalleri

Hidrojen atomunun 1*s* orbitaline ait tam dalga fonksiyonunu elde etmek için, $Z = 1$ ve $n = 1$ alınarak açısal ve radyal dalga fonksiyonları çarpılır. Burada kırmızı (radyal) ve mavi (açısal) renkler dalga fonksiyonunun iki farklı kısmını temsil etmektedir.

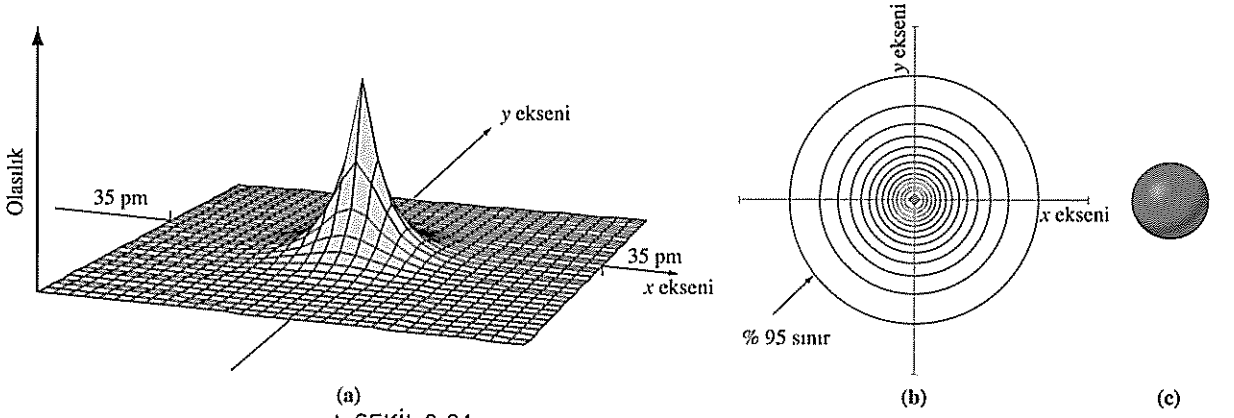
$$\psi(1s) = R(r) \times Y(\theta,\phi) = \frac{2e^{-r/a_0}}{a_0^{3/2}} \times \frac{1}{\sqrt{4\pi}} = \frac{e^{-r/a_0}}{\sqrt{(\pi a_0^3)}}$$

Yukarıdaki a_0 terimi Bohr kuramındaki a_0 ile aynı anlamı taşır ve değeri 53 pm olan birinci Bohr yarıçapıdır. $\psi(1s)$ in karesi alınarak hidrojen atomundaki 1*s* elektronunun çekirdekten *r* uzaklığında bulunabilmesinin olasılık yoğunluğunu veren bağlantı elde edilir.

▶ $\psi^2(1s)$, çekirdekten *r* uzaklıktaki bir noktada bir 1*s* elektronunun olasılık yoğunluğudur. Olasılık-yoğunluk dağılımı da çok önemlidir. Bu dağılım, çekirdekten *r* uzaklıktaki *bütün* noktaların toplam olasılığını verir. Bu dağılımın $4\pi r^2\,\psi^2$ ile verildiğini Kesim 8-10 da göreceğiz.

$$\psi^2(1s) = \frac{1}{\pi}\left(\frac{1}{a_0}\right)^3 e^{-2r/a_0} \qquad (8.18)$$

ψ^2 yi (8.18) eşitliğinde nasıl ifade edebiliriz? Birinci yol şudur; çekirdek içinden geçen bir düzlem (örneğin bir *xy* düzlemi) oluşturalım ve elektronun yoğun olarak bulunabileceği kısımları (ψ^2) gösteren bir grafik çizelim. Bu grafikte düzlemdeki pek çok noktanın üzerindeki dikey yükseklikler, elektronun bulunma olasılığının yüksek olduğu bölgeleri ifade eder. Şekil 8-24(a) da gösterildiği gibi, elde edilen grafik bir volkanı andıran koni şeklinde simetrik bir "tepe" ye benzer ve onun en uç noktası çekirdeğin hemen üstündeki elektron olasılık yoğunluğunu gösterir. Dünya yüzeyinin



▲ ŞEKİL 8-24
1*s* orbitalinin elektron olasılık yoğunluğunun üç gösterim şekli
(a) Bu diyagramda olasılık yoğunluğu, *xy* düzleminden yükselti olarak gösterilmiştir. (düzlem rastgele seçilmiştir, herhangi bir düzlem seçilebilir.) **(b)** 1*s* orbital olasılık yoğunluğunun xy düzlemindeki görüntüsü, % 95 olasılık sınırı işaretlenmiştir. **(c)** 1*s* orbitalinin %95'lik kısmını kapsayan bölgenin küçük ölçekte üç boyutlu gösterimi.

topografiksel haritasında olduğu gibi, üç boyutlu bir yüzeyi, iki boyutlu bir yüzey haritası şeklinde tasarlayabiliriz. Elektron olasılık yoğunluğunu ifade eden "tepe" nin yüzey haritası şekil 8-24(b) de gösterilmiştir. Dairesel çizgiler eşit düzeydeki elektron olasılık yoğunluklarının sınırlarını gösterir. Çekirdeğe yakın çizgiler elektronun yüksek olasılıkla bulunduğu noktaları, uzak çizgiler ise elektronun daha az bulunabileceği noktaları ifade eder. Elektron olasılığını daha basit bir biçimde göstermenin yolu, elektronun bulunma olasılığı yüksek alanları da kapsayan büyük bir bölgeyi seçmek olacaktır. Genellikle seçilen bölge elektronun bulunma olasılığının % 95 olduğu bir alandır. Belirtilen % 95 lik alan çekirdekten geçen bir düzlemdedir; fakat 1*s* orbitalindeki bir elektron üç boyutlu bir alanda hareket eder. % 95 olasılık yüzeyinin tümü Şekil 8-24(c) de görüldüğü gibi bir küredir.

Şimdi de 2*s* orbitalinin dalga fonksiyonunu inceleyelim.

$$\psi(2s) = R(r) \times Y(0,\phi) = \frac{1}{2\sqrt{2}}\frac{1}{a_0^{3/2}}\left(2 - \frac{r}{a_0}\right)e^{-r/2a_0} \times \frac{1}{\sqrt{4\pi}} = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{2\pi a_0^3}\right)^{1/2}\left(2 - \frac{r}{a_0}\right)e^{-r/2a_0}$$

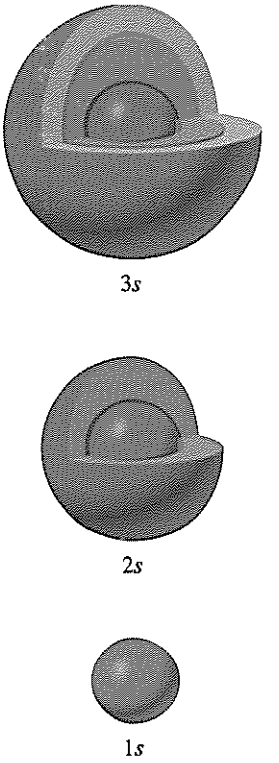
2*s* orbitali için elektron olasılık yoğunluğu;

$$\psi^2(2s) = \frac{1}{8\pi}\left(\frac{1}{a_0}\right)^3\left(2 - \frac{r}{a_0}\right)^2 e^{-r/a_0} \qquad (8.19)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlik, 1*s* orbitali için verilen (8.18) eşitliği ile karşılaştırılırsa, 2*s* elektronlarının 1*s* elektronlarına göre çekirdekten daha uzakta kalma eğiliminde olduğunu gösterir. Çünkü 1*s* için üstel terim (eşitlik 8.18), $-2r/a_0$ değerinden 2*s* için (eşitlik 8.19) $-r/a_0$ olarak değişmektedir. 2*s* orbitalinin üstel terimi 1*s* orbitalinin üstel teriminden daha yavaş bir şekilde azalır.

$\left(2 - \frac{r}{a_0}\right)$ faktörü, 2*s* dalga fonksiyonunda fonksiyonun işaretini belirler. Küçük r değerleri için r/a_0 ikiden küçüktür ve dalga fonksiyonu pozitif olur. Fakat büyük r değerlerinde r/a_0 ikiden büyük olduğundan fonksiyon negatif olacaktır. $r = 2a_0$ olduğunda ise çarpan sıfırdır ve fonksiyon bir *radyal düğüm* noktasına sahiptir. Dalga fonksiyonu bu *radyal düğümde* faz (işaret) değiştirir.

Buna göre 2*s* orbitalinin olasılık yoğunluğu küresi, 1*s* orbitalininkinden daha büyüktür ve radyal düğümden dolayı sıfır olasılıklı bir küre içerir. 2*s* orbitalinde elektronun bulunma olasılığının % 95 olabilmesi için, 1*s* orbitalininkinden daha büyük bir küreye gereksinim vardır. Bu durum 1*s*, 2*s* ve 3*s* orbitallerinin kıyaslandığı Şekil 8-25 de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 3*s* orbitali iki radyal düğüme sahiptir ve 1*s* ve 2*s* orbitallerinden daha büyüktür. Enerji arttığında düğüm sayısının artması yüksek enerjili durağan dalgalara özgü bir olgudur. Çekirdekten uzaklaştıkça meydana gelen faz değişimlerini vurgulamak için, faz değişimini ifade eden farklı renkler kullanıldı. Buna göre, Şekil 8-25 de gösterildiği gibi, 1*s* orbitali tek kırmızı ile gösterilirken, 2*s* orbitali kırmızı renk ile başlatılıp mavi renge dönüştürülmüştür. 3*s* orbitali ise, iki radyal düğümün varlığını ifade eden ve kırmızı ile başlayıp, sonra mavi renge dönen ve daha sonra da tekrar kırmızıya dönen renkler ile gösterilmiştir. Şimdi dikkatimizi *p* orbitallerine çevirelim.



▲ ŞEKİL 8-25
1*s*, 2*s* ve 3*s* orbitallerinin % 95 elektron olasılık yoğunluğunun üç boyutlu gösterimi
Hidrojen atomunun ilk üç *s* orbitali. 1*s* den 2*s* ye ve ondan 3*s* ye doğru gidildikçe % 95 olasılık yoğunluğu çapının artığına dikkat ediniz.

p Orbitalleri

Hidrojen atomu için $\psi(2p)$ fonksiyonunun radyal kısmı

$$R(2p) = \frac{1}{2\sqrt{6}}\left(\frac{1}{a_0}\right)^{3/2}\frac{r}{a_0}e^{-r/2a_0}$$

şeklindedir. Buna göre r nin sonlu değerleri için, $2p$ orbitalleri radyal düğüme sahip değildir. $r = 0$ değerinde sıfır olmayan s orbitallerinin aksine p orbitalleri $r = 0$ değerinde kaybolurlar. Bu farklılık çok elektronlu atomların incelenmesinde önemli bir sonuç doğuracaktır.

$2s$ orbitalinin açısal fonksiyonunun aksine, $2p$ orbitalinin açısal kısmı sabit olmayıp θ ve ϕ açılarının fonksiyonudur. Bu durumda p orbitalinin olasılık-yoğunluk dağılımı küresel simetriye sahip değildir, yani olasılık-yoğunluk dağılımı küre şeklinde değildir. Bu olgu Çizelge 8.11 deki $2p_z$ dalga fonksiyonunun açısal kısmının fonksiyonel şeklinde açıkça görülmektedir. Burada $2p_z$, $\cos\theta$ ile orantılıdır. Böylece $2p_z$ dalga fonksiyonu z ekseninin pozitif kısmında $\theta = 0$ ve $\cos(0) = +1$ de bir açısal maksimuma sahip olacaktır. z ekseninin negatif kısmında ise $\theta = \pi$ ve $\cos\pi = -1$ değeri için p_z dalga fonksiyonu minimum değere erişecektir. z ekseni üzerinde açısal kısmın maksimum değere sahip olabilmesi, p_z orbitalinin şeklini belirler. xy düzleminin her yerinde $\theta = \pi/2$ ve $\cos\theta = 0$ olup, xy düzlemi bir düğümdür. Bu düğüm açısal fonksiyonda ortaya çıktığından, *açısal düğüm* olarak adlandırılır. p_x ve p_y orbitalleri için yapılan benzer değerlendirmeler; bunların da p_z orbitaline benzediğini, fakat açısal düğümün p_x orbitalinde yz düzleminde, p_y orbitalinde xz düzleminde olduğunu göstermiştir.

▶ Dalga fonksiyonunun işaret değiştirdiği noktalara düğüm denir. Bununla birlikte, $2p$ dalga fonksiyonlarının $r = 0$ ve $r = \infty$ da sıfır olmalarına karşın, bu noktalar gerçek birer düğüm değildirler. Çünkü bu noktalarda fonksiyon işaret değiştirmez. Bazen bu noktalara *anlamsız düğümler* denir.

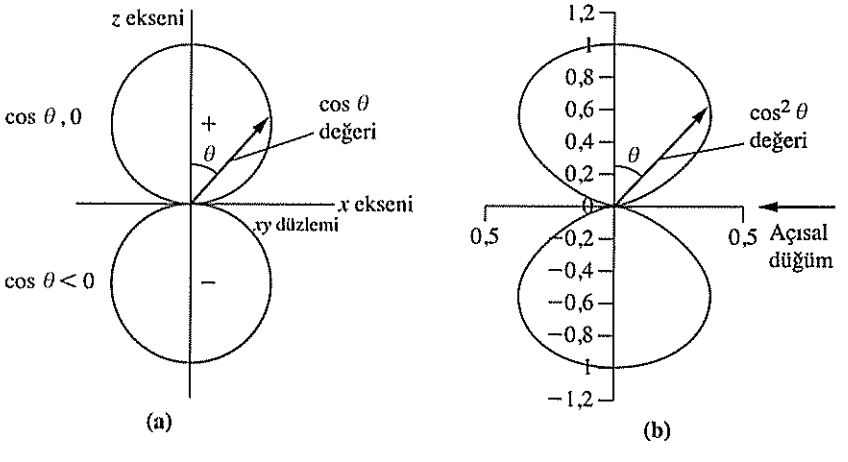
Şekil 8-26 da p_z dalga fonksiyonunun açısal kısmının gösterimi için iki yöntem görülmektedir. Şekil 8-26(a) da $\cos\theta$ ile θ nın değişimi çizilmiş ve iki tanjantal çember ortaya çıkmıştır. Şekil 8-26(b) de ise açısal olasılık yoğunluğuna bağlı olan $\cos^2\theta$ fonksiyonu θ nın fonksiyonu olarak çizilmiş ve iki damla şekli ortaya çıkmıştır. Her iki gösterim şekli de kullanılmaktadır. Şeklin (a) kısmında cos θ ile elde edilen çizimde faz oluşması, (b) kısmında ise, daima pozitif değer alan $\cos^2\theta$ ile elde edilen çizimde faz oluşmaması, üstünde durulması gereken bir noktadır. Çünkü daha sonraki kesimde, orbital fazının kimyasal bağ oluşumunun anlaşılmasındaki önemi görülecektir.

$\psi^2(2p)$ nin açısal ve radyal kısımlarının aynı anda, birlikte gösterimi oldukça zordur. Fakat 8-27 de p_x orbitallerinin olasılık yüzeyinin % 95 i için, hem açısal hem de radyal kısım birarada gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 8-28 de ise her üç p orbitali, kartezyen koordinat sisteminin birbirine dik üç ekseni doğrultusunda gösterilmiştir. Dalga fonksiyonlarının fazlarını belirtmek için orbital gösterimlerinde artı ve eksi işaretleri kullanılır. Ancak bu işaretler, ψ^2 için *değil*, yalnızca orijinal dalga fonksiyonunun fazları için kullanılırlar.

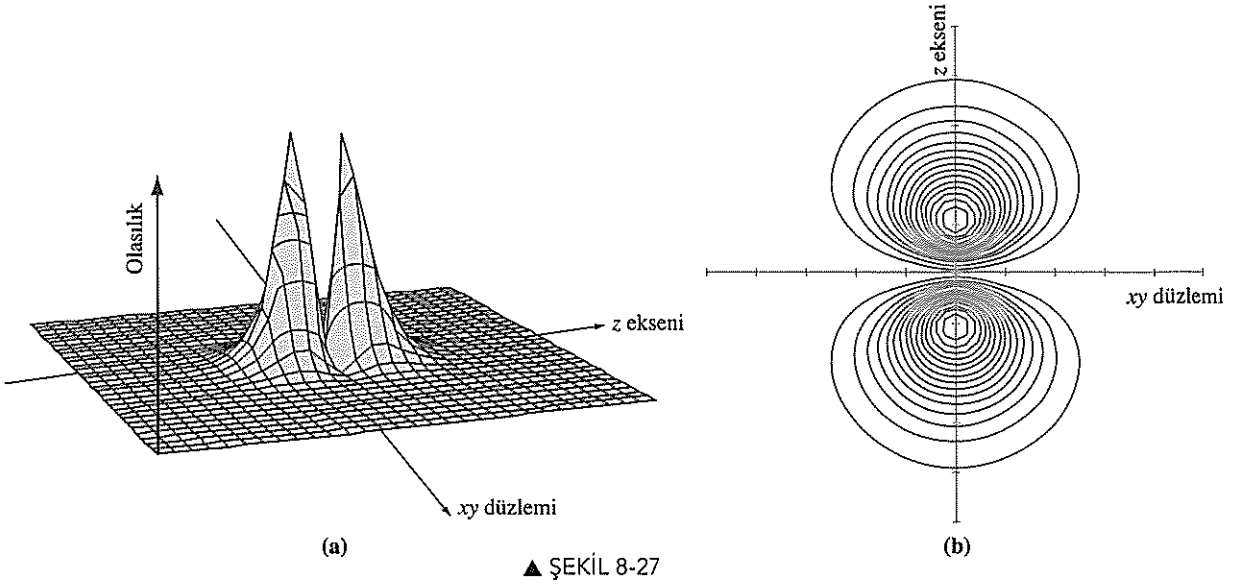
d Orbitalleri

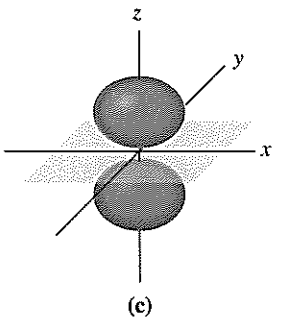
d orbitalleri $n = 3$ ve daha yüksek kabuklarda görülür. Bu durumlarda açısal fonksiyon iki açısal (ya da düzlemsel) düğüme sahiptir. Bunu, açısal fonksiyonu

$$\sin^2\theta\cos 2\phi$$

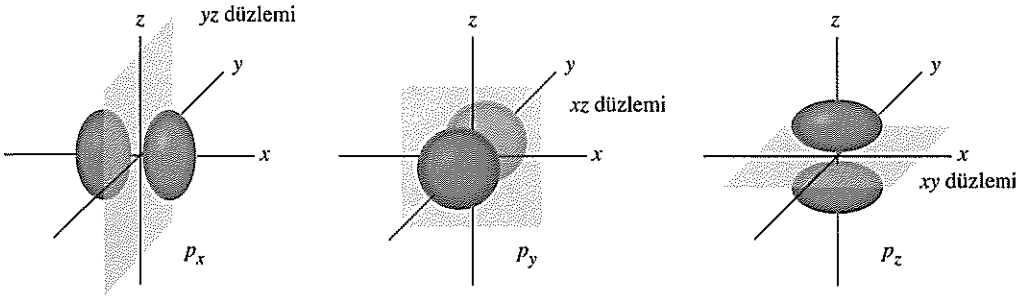


▶ ŞEKİL 8-26
p orbitali açısal fonksiyonunun iki gösterim şekli
(a) $2p_z$ dalga fonksiyonunun açısal kısmının, zx düzleminde cos θ çizimi ile gösterimi. Açısal dalga fonksiyonunu gösteren iki lobdaki fonksiyonun renginin farklı olduğuna dikkat ediniz. **(b)** Elektronun bulunabileceği açısal olasılık yoğunluğu ile orantılı olan $\cos^2\theta$'nın zx düzlemindeki çizimi.

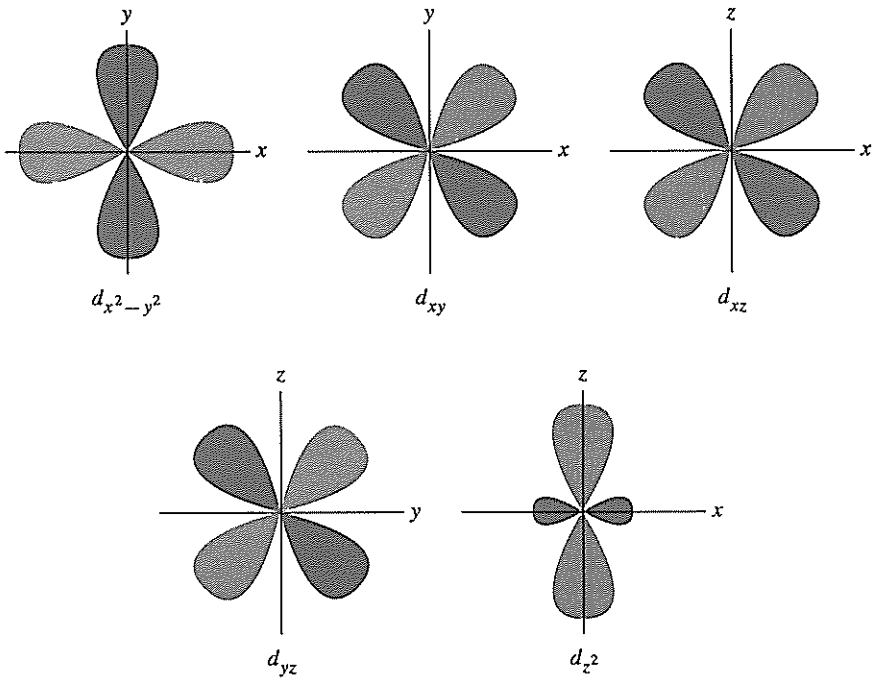




▲ ŞEKİL 8-27
Bir 2*p* orbitalinin elektron olasılığının üç gösterim şekli
(a) ψ^2 nin değeri çekirdeğin ortasından geçen bir düzlemden (örneğin *xy* düzlemi) yukarıya doğru uzanan bir yükselti şeklinde çizilmiştir. ψ^2 nin değeri çekirdekte sıfırdır, her iki tarafta maksimum değere ve çekirdekten geçen bir çizgi üzerinde (örneğin *x*, *y* veya *z* ekseni) çekirdekten *(r)* uzaklığında tekrar sıfıra erişir. **(b)** Noktalar; çekirdekten geçen bir düzlemde, örneğin *xz* düzleminde elektronun bulunma olasılığını göstermektedir. **(c)** Elektron bulunma olasılıklarının ve yük yoğunluklarının üç boyutlu olarak gösterimi. Bir elektronun bulunma olasılığının en yüksek olduğu yer, halter şeklindeki bölgenin iki yumrusunun içerisindedir. Bu bölge küresel simetriye sahip değildir. Olasılık gölgeli düzlemde sıfıra düşer [düğüm düzlemi (*yz* düzlemi)]. 2*s* ve 3*s* orbitallerinde olduğu gibi faz geçişleri farklı renklerle gösterilmiştir



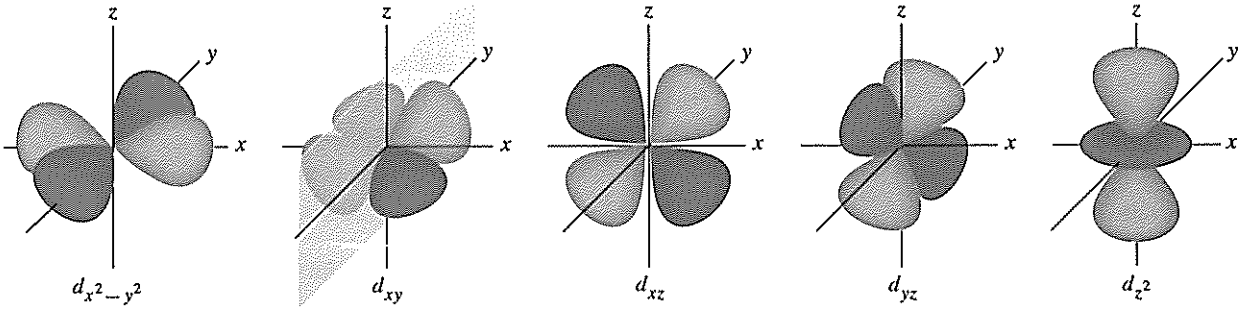
▲ ŞEKİL 8-28
Üç 2*p* orbitali
p orbitalleri genellikle birbirine dik *x*, *y* ve *z* eksenleri üzerinde gösterilirler ve çoğu kez p_x, p_y ve p_z ile simgelenirler. p_z orbitalinin manyetik kuantum sayısı $m_\ell = 0$ dır. p_x ve p_y orbitallerinin durumu daha karmaşıktır. Bu orbitallerin her biri hem $m_\ell = 1$ hem de $m_\ell = -1$ den kaynaklanan etkiye sahiptirler. Ama asıl olan *p* orbitallerinin üç türden oluşan bir takım oluşturması ve yönelmelerinin şekilde gösterildiği gibi olmasıdır. Daha yüksek sayılı kabuklarda *p* orbitalleri biraz farklılık gösterirler. Fakat tüm *p* orbitallerinin gösteriminde yukarıdaki şekiller kullanılacaktır. Yumrulardaki işaretler, orijinal dalga fonksiyonlarının fazlarını belirtmektedir.



▲ ŞEKİL 8-29
Beş tür *d* orbitalinin kesitleri
Beş tür *d* orbitallerinin açısal fonksiyonlarının, düzlemde iki boyutlu kesitleri gösterilmiştir.

ile orantılı olan, orbital ile açıklayalım. Bu fonksiyonu hayalimizde nasıl canlandırabiliriz? $\theta = \pi/2$ alınıp $\cos 2\phi$ nin değişimi çizilerek gösterilebilir. Şekil 8-22 yi (sayfa 324) inceleyin, göreceksiniz ki, xy düzlemi için $\theta = \pi/2$ iken Şekil 8-29 da sol üsteki haç şeklindeki kesit ortaya çıkar. Dalga fonksiyonu x ve y eksenleri üzerinde sırasıyla kırmızı ve mavi renklerle gösterilen negatif ve pozitif yumrular sergiler. Bu orbital diğer tüm d orbitallerinde olduğu gibi üç değişkenden (x, y, ve z) ikisinin fonksiyonudur ve $d_{x^2-y^2}$ şeklinde simgelenir. Diğer d orbitalleri Şekil 8-29 da d_{xy}, d_{xz}, d_{yz} ve d_{z^2} çapraz şeklinde gösterilmiştir. Beş d orbitalinden dördü, üzerinde bulunduğu eksenler dışında, aynı görünüme sahiptir, ancak d_{z^2} orbitali biraz farklı görünümdedir.

Beş d orbitalinin % 95 olasılık yüzeyleri Şekil 8-30 da gösterilmiştir. d orbitallerinden ikisi ($d_{x^2-y^2}$ ve d_{z^2})



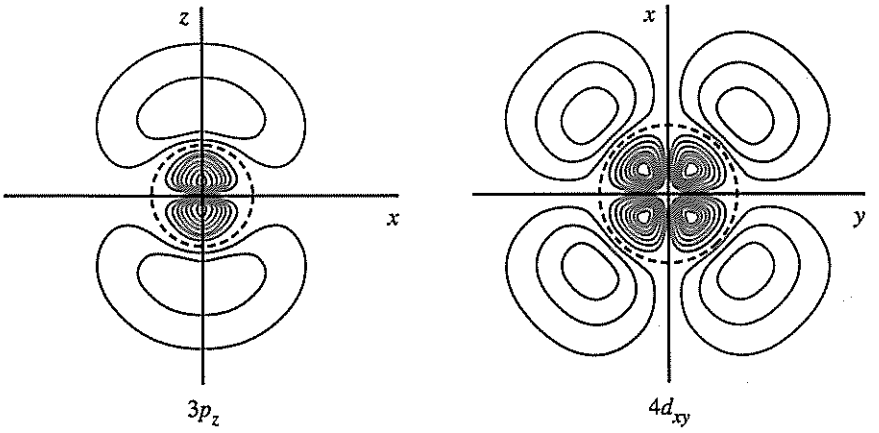
▲ ŞEKİL 8-30
Beş tür *d* orbitalinin gösterimi
xy, *xz*, *yz* ve diğerlerinin gösterimi m_ℓ kuantum sayılarına bağlıdır, fakat bunun ayrıntısı burada ele alınmayacaktır. Bir orbitalin düğüm yüzeyi sayısı, ℓ kuantum sayısına eşittir. *d* orbitallerinin böyle iki düzlemi vardır. Burada d_{xy} orbitalinin düğüm düzlemleri gösterilmiştir (d_{z^2} orbitalinin düğüm yüzeyleri gerçekte koni şeklindedirler).

kartezyen sisteminin birbirine dik üç ekseni üzerinde, kalan üçü ise (d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}) kartezyen eksenlerinin arasında yer alır. Burada da asıl dalga fonksiyonlarına ait yumruların bağıl fazları farklı renklerle gösterilmiştir. *d* orbitalleri Bölüm 23 de göreceğimiz geçiş elementlerinin kimyasını kavramada büyük önem taşırlar.

8-6 MERAK EDİYORSANIZ...

$3p_z$ ve $4d_{xy}$ orbitallerinin şekli nasıldır?

Daha büyük baş kuantum sayısına sahip orbitallerin şekli ele alındığında, henüz tartıştığımız türden şekiller çizebilir ve ilave radyal düğümler ekleyebiliriz. Örneğin, $3p_z$ orbitali toplam olarak iki düğüme sahiptir (düğüm sayısı = n–1); bunlardan biri $3p_z$ dalga fonksiyonunun açısal kısmının açısal düğümünü oluşturur ve böylece dalga fonksiyonunun radyal parçası da bir düğüme sahip olacaktır. Şekil 8-31, Şekil 8-27(b) de olduğu gibi *xz* düzlemindeki $3p_z$ dalga fonksiyonunun düzlemde çizimini gösterir. Dikkat edelim ki, $3p_z$ orbitali açısal düğümden dolayı $2p_z$ ile aynı şekle sahiptir, fakat radyal düğüm bir daire şeklindedir (Şekil 8-31 kesik çizgili çember). $3p_z$ orbitalinin görüntüsü daha büyük bir *p* orbitalinin içindeki daha küçük bir *p* orbatilinin görüntüsüne benzer. Benzer şekilde, $4d_{xy}$ orbitalinin görüntüsü daha büyük bir d_{xy} orbitali içindeki daha küçük bir d_{xy} orbitalinin görüntüsü gibidir. Şekil 8-31 de radyal düğüm kesikli daire ile gösterilmiştir ve düğüm farklı bir renkle işaretlenmiştir. Bu bilgiler, daha büyük baş kuantum sayılarındaki orbitallerin krokisini çizmemize yardımcı olacaktır.



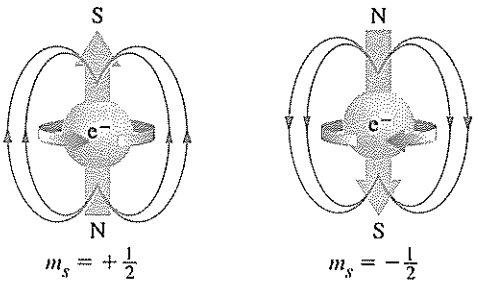
▲ ŞEKİL 8-31
$3p_z$ ve $4d_{xy}$ orbitallerinin iki boyutlu gösterimi
Bu orbitallerde bağıl fazlar kırmızı ve maviyle gösterilmiştir. Radyal düğümler kesik çizgili dairelerle ifade edilmiştir.

8-7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Hangi tür orbitalin üç açısal düğümü ve bir radyal düğümü vardır?

8-9 Elektron Spini: Dördüncü Kuantum Sayısı

Dalga mekaniği, elektron orbitallerinin tanımlanmasında kullanabildiğimiz üç kuantum sayısı vermişti. 1925 yılında George Uhlenbeck ve Samuel Goudsmit, hidrojen spektrumundaki açıklanamayan bazı nok-

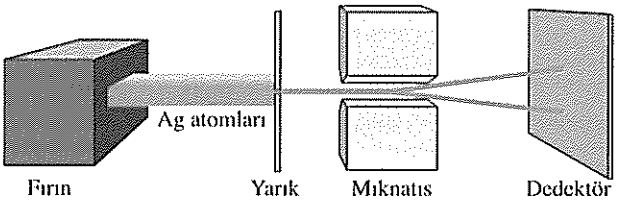


▲ ŞEKİL 8-32
Elektron spininin simgesel canlandırılması
Elektron spininin iki olasılığı ve bunlara eşlik eden manyetik alanlar görülmektedir. Zıt spinli iki elektron, birbirini söndüren zıt manyetik alanlara sahiptirler. Bunun sonucu olarak elektron çiftlerinde net manyetik alan söz konusu değildir.

taların elektronun, Dünyanın ekseni etrafında dönüşüne benzer şekilde, kendi ekseni etrafında döndüğünü kabul ederek açıklanabileceğini ileri sürdüler. Şekil 8-32 ye bakıldığında **elektron spini** için iki olasılık görülür. Buna göre, bu olasılıklar dördüncü bir kuantum sayısı olan elektron kuantum sayısı m_s ile belirtilebilir. Elektron spin kuantum sayısı, $+\frac{1}{2}$ (yukarı yönelik okla ↑ simgelenir) ya da $-\frac{1}{2}$ (aşağı yönelik okla ↓ simgelenir) değerleri alabilir ve m_s nin değeri, diğer üç kuantum sayısının değerine bağlı değildir.

Elektron spinin varlığının kanıtı nedir? 1920 yılında Otto Stern ve Walter Gerlach tarafından, başka bir amaç için tasarlanarak gerçekleştirilen deneyde ortaya çıkan sonuçlar bunun kanıtı olarak görülebilir (Şekil 8-33). Bu deneyde gümüş, bir fırında buharlaştırılmış, gümüş atomları demeti tekdüze olmayan bir manyetik alandan geçirilmiş ve atom demetinin ikiye ayrıldığı gözlenmiştir. Bu olayın basitleştirilmiş açıklaması aşağıdaki gibi yapılabilir.

1. Elektron, spini nedeni ile bir manyetik alan oluşturur.
2. Spinleri birbirine zıt elektronlardan oluşan elektron çifti (eşleşmiş iki elektron) bir manyetik alan oluşturmaz.
3. Gümüş atomundaki 23 elektronun spini bir yönde, 24 elektronun spini ise bunlara zıt yöndedir. Dolayısı ile oluşan manyetik alanın yönü yalnızca eşleşmemiş elektronun spinine bağlıdır.
4. Çok sayıda gümüş atomundan oluşmuş gümüş atomu demetinde eşleşmemiş elektronun spininin $+\frac{1}{2}$ ya da $-\frac{1}{2}$ olması şansı birbirine eşittir. Bu nedenle, gümüş atomları tarafından oluşturulan manyetik alanla, dıştan uygulanan manyetik alanın etkileşimi sonucu, atom demeti ikiye ayrılır.



▲ ŞEKİL 8-33
Stern-Gerlach deneyi
Fırında buharlaştırılan gümüş atomları bir yarıktan geçirilerek demet haline getirilir ve bu demet tekdüze olmayan bir manyetik alandan geçirilir. Demet ikiye ayrılır. Eğer manyetik alan tekdüze olsaydı atom demeti bir kuvvetin etkisinde kalmayacaktı. Alan şiddeti bazı doğrultularda diğer doğrultulardakinden daha kuvvetli olmalıdır.

H Atomunun Elektron Yapısı: Dört Kuantum Sayısının Gösterimi

Hidrojen atomunun elektron yapısını tanımlamak için, daha önce anlatılan dört kuantum sayısının birlikte değerlendirilmesi gerekir. Hidrojen atomunun temel halinde, elektron en düşük enerji düzeyinde bulunur. Temel halde baş kuantum sayısı $n = 1$ dir. İlk baş kabuk, yalnızca tek s orbitali içerdiğinden, orbital kuantum sayısı, $\ell = 0$ olur. Manyetik kuantum sayısının tek olası değeri ise $m_\ell = 0$ dır. Elektron spini $m_s = +\frac{1}{2}$ ya da $-\frac{1}{2}$ olabilir. Bu spinlerden hangisinin geçerli olduğu, Uhlenberg ve Goudsmit tarafından yapılan deneye benzer bir deney yapmadıkça anlaşılamaz. Böylece dört kuantum sayısı şu şekilde gösterilebilir:

$$n=1 \qquad \ell=0 \qquad m_\ell=0 \qquad m_s=+\frac{1}{2} \text{ ya da } m_s=-\frac{1}{2}$$

Kimyacılar sıklıkla bu durumu şöyle ifade eder: temel haldeki hidrojen atomunda elektron 1s orbitalindedir ve simgesel olarak hidrojen atomunun elektron yapısı veya elektron dağılımı

$$1s^1$$

şeklinde gösterilir burada s in üzerindeki 1, 1s orbitalinde bir tek elektron bulunduğunu gösterir. Elektron spini iki halden biri olabilir, ancak simgesel yazımda spin gösterilmez.

UNUTMAYINIZ

Orbitaller birer matematiksel fonksiyondur ve uzayda fiziksel bir bölge değildir. Bununla birlikte, elektronların "orbital" denen bölgelerde bulunduğu alışılmış bir söylemdir.

Uyarılmış haldeki hidrojen atomunda elektron, baş kuantum sayısı, n, daha yüksek olan orbitallerde bulunur. Örneğin, elektron $n = 2$ düzeyine uyarılmışsa, 2s orbitaline veya 2p orbitallerinden birine geçer. 2p orbitallerinin tümü aynı enerji düzeyindedir. 2s ve 2p orbitallerinde yoğunluk olasılığı çekirdeğin daha uzağına yayıldığından, uyarılmış haldeki atom temel haldeki atomdan daha büyüktür. Uyarılmış haller şu şekilde gösterilirler.

$$2s^1 \text{ ya da } 2p^1$$

Aşağıda birden çok elektron içeren atomların (*çok elektronlu* atomların) elektron yapıları ele alınacaktır.

ÖRNEK 8-12 Dört Kuantum Sayısı; n, ℓ, $m\ell$ ve m_s nin Uygun Kombinasyonunun Seçimi

Aşağıda verilen kuantum sayıları, n, ℓ, m_ℓ ve m_s setlerinden doğru olanları seçiniz ve bu kuantum sayılarının hangi orbitali gösterdiğini belirtiniz.

$$(2,1,0,0) \quad \left(2,0,1,\frac{1}{2}\right) \quad \left(2,2,0,\frac{1}{2}\right) \quad \left(2,-1,0,\frac{1}{2}\right) \quad \left(2,1,0,-\frac{1}{2}\right)$$

Analiz

$n = 2$ iken ℓ nin iki değer (0 ve 1) alabileceğini biliyoruz. m_ℓ nin alabileceği değerler (8.16) eşitliğinde verilmiştir. m_s ise $\pm\frac{1}{2}$ değerlerini alabilir. Bu bilgileri kullanarak hangi kombinasyonun doğru olduğunu değerlendirebiliriz.

Çözüm

(n, ℓ, m_ℓ, m_s)	**Değerlendirme**
$(2,1,0,0)$	m_s değeri doğru değildir.
$\left(2,0,1,\frac{1}{2}\right)$	m_ℓ değeri doğru değildir.
$\left(2,2,0,\frac{1}{2}\right)$	ℓ değeri doğru değildir.
$\left(2,-1,0,\frac{1}{2}\right)$	ℓ değeri doğru değildir.
$\left(2,1,0,-\frac{1}{2}\right)$	Bütün kuantum sayıları doğrudur.

(devam ediyor)

Kuantum sayılarının doğru kombinasyonunda $n = 2$, $\ell = 1$, $m_\ell = 0$ ve $m_s = -\frac{1}{2}$, 2p orbitalini ifade etmektedir.

Değerlendirme

$2p$ orbitalindeki bir elektron için verilen yukarıdaki kuantum sayıları kombinasyonu, olası altı kombinasyondan bir tanesidir. $2p$ orbitalindeki bir elektron için diğer beş kombinasyon ise şunlardır:

$\left(2, 1, 0, \frac{1}{2}\right)$, $\left(2, 1, -1, -\frac{1}{2}\right)$, $\left(2, 1, -1, \frac{1}{2}\right)$, $\left(2, 1, 1, -\frac{1}{2}\right)$, ve $\left(2, 1, 1, \frac{1}{2}\right)$.

ALIŞTIRMA A: Aşağıda verilen kuantum sayıları (n, ℓ, m_ℓ ve m_s) setlerinden yanlış olanları belirleyiniz ve neden yanlış olduğunu söyleyiniz.

$(3, 2, -2, 1)$ $\left(3, 1, -2, \frac{1}{2}\right)$ $\left(3, 0, 0, \frac{1}{2}\right)$ $\left(2, 3, 0, \frac{1}{2}\right)$ $\left(1, 0, 0, -\frac{1}{2}\right)$ $\left(2, -1, -1, \frac{1}{2}\right)$

ALIŞTIRMA B: Aşağıda verilen kuantum sayılarında hataları bulunuz.

$(2, 1, 1, 0)$ $\left(1, 1, 0, \frac{1}{2}\right)$ $\left(3, -1, 1, -\frac{1}{2}\right)$ $\left(0, 0, 0, -\frac{1}{2}\right)$ $\left(2, 1, 2, \frac{1}{2}\right)$

8-10 Çok Elektronlu Atomlar

Schrödinger, denklemini hidrojen atomu için (tek bir elektron içeren bir atom için) geliştirmişti. Çok elektronlu atomlarda elektronlar arasındaki karşılıklı itmenin de dikkate alınması gerekir. Çok elektronlu atomlarda elektronlar birbirlerinden olabildiğince uzaklaşmaya çalışırlar ve elektronların hareketleri içinden çıkılamayacak kadar karmaşık bir hale gelir. Bu nedenle, bu çok tanecikli yapıdaki problemin çözümü ancak yaklaşık olarak yapılabilir. Yaklaşık çözüm için, çekirdek ve diğer elektronların bulunduğu ortamda, bir elektron tek başınaymış gibi kabul edilir. Bu tür bir çözümle bulunan elektron orbitallleri hidrojen atomu için bulunanlarla aynıdır ve *hidrojene benzer* orbitaller olarak adlandırılırlar. Hidrojen atomu ile karşılaştırıldığında, çok elektronlu atomlardaki orbitallerin açısal kısmının değişmediği, radyal kısmının ise farklı olduğu görülür.

Daha önce, hidrojen atomu için Schrödinger denkleminin çözümü ile orbital enerjilerinin bulunduğu ve aynı baş kuantum sayısına (n) sahip tüm orbitallerin eşenerjili olduğu (hepsi aynı enerjiye sahip) anlatılmıştı. Hidrojen atomunda $2s$ ve $2p$ orbitalleri ve aynı şekilde $3s$, $3p$ ve $3d$ orbitalleri de eşenerjilidir.

UNUTMAYINIZ

Orbitalin dalga fonksiyonları n arttıkça çekirdekten daha uzağa yayılırlar. Bu nedenle, $3s$ ya da $3p$ deki bir elektronun çekirdekten daha uzaktaki bulunma olasılığı, $1s$ deki bir elektrona göre daha fazladır.

Çok elektronlu atomlarda çekirdek ile elektron arasındaki çekim kuvveti, çekirdek yükünün artması ile artar. Bunun sonucu olarak, atom numarası arttıkça orbital enerjileri azalır, yani negatiflik artar. Aynı zamanda çok elektronlu atomlarda orbital enerjileri orbitalin türüne bağlıdır ve bir baş kabuktaki farklı ℓ kuantum sayısına sahip orbitaller eşenerjili değildir.

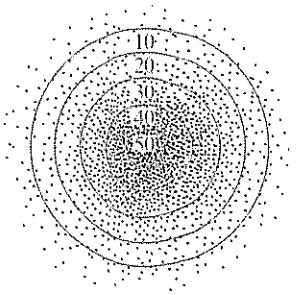
Girinim (nüfuz etme) ve Perdeleme

Çekirdekten belirli uzaklıkta bulunan bir elektron ile çekirdek arasındaki çekim kuvvetini göz önüne alalım. Çekirdeğe daha yakın orbitallerde bulunan elektronlar, daha uzakta bulunan elektronlar ile çekirdek arasında bir *perde* veya *kalkan* işlevi görür. Perdeleme işlevi gören elektronlar, çekirdeğin daha uzakta bulunan elektronlar üzerindeki çekim etkisini ve etkin şekilde çekirdek yükünü azaltırlar.

Çekirdek yükündeki azalma, perdeleyen ve perdelenen elektronların bulundukları orbitallerin türüne bağlı olarak değişir. Daha önce s orbitallerindeki elektronların çekirdekte yüksek olasılık yoğunluğuna sahip olmasına karşın, p ve d orbitallerindeki elektronların çekirdekteki olası-

lık yoğunluğunun sıfır olduğu anlatılmıştı. Buna göre *s* orbitallerindeki elektronların, daha dıştaki elektronları çekirdeğe karşı perdeleme etkisi, *p* ve *d* orbitallerindeki elektronlardan çok daha fazla olacaktır. Elektronun çekirdeğe daha çok yaklaşmasına izin veren *s* orbitallerindeki elektronların, bu yaklaşabilme yeteneğine *girinim (nüfuz)* denir. Girinimi fazla olan bir orbitaldeki elektronların perdeleme etkisi, girinimi daha az olan orbitallerdeki elektronlarınkinden daha büyüktür.

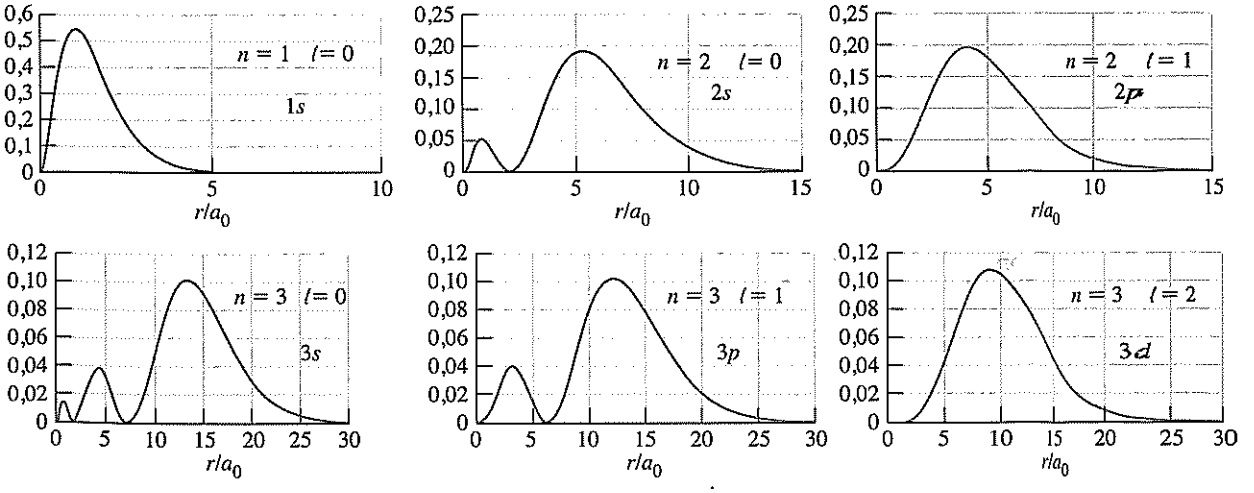
Orbitallerdeki elektronların çekirdeğe girinimini kavrayabilmek için, farklı tür bir olasılık dağılımına gereksinim vardır. Bu nedenle, orbitallerin üç boyutlu yapılarında herhangi bir noktadaki olasılık yerine, *r* yarıçapında ve son derece küçük et kalınlığına sahip bir küre içerisindeki herhangi bir yerde, elektronun bulunma olasılığı dikkate alınmalıdır. Bu olasılık dağılımı türüne *radyal olasılık dağılımı* denir ve radyal olasılık yoğunluğu, $R^2(r)$ ile *r* yarıçapına sahip kürenin yüzeyi, $4\pi r^2$ nin çarpılması ile hesaplanır. Şekil 8-34 te görülen hedef tahtası modellemesi, bir noktadaki olasılık ile hacimsel bir bölgedeki olasılığın farkını anlamada yardımcı olacaktır.



▲ ŞEKİL 8-34
1s orbitaline hedef tahtası benzetmesi
Bir hedef tahtasına tek bir okun (elektron) 1500 kez atıldığını düşünün. Bu atışların %95 i hedef tahtasına saplanmış olsun; bu olay 1*s* orbitallerinin durumuna benzemektedir. Atılan okun çarpma olasılığı en yüksek olan yer neresidir? Birim alana isabet olasılığı en yüksek olan yer 50 numaralı bölgedir, yani 50 numaralı bölge en büyük olasılık yoğunluğuna sahiptir. Buna rağmen en çok isabet "30" numaralı halkaya olmuştur. Çünkü 30 numaralı halkanın alanı 50 numaralı halkanınkinden daha büyüktür. Hedef tahtasındaki 30 numaralı *halka* 1*s* orbitalinin gösteriminde yer alan daha geniş küreler arasında, yarıçapı 53 pm olan küresel *kabuğun* eşdeğeridir.

$4\pi r^2 \times R^2(r)$, elektronun davranışına farklı bir anlayış getirir. Hidrojen atomundakine benzer orbitaller için, radyal olasılık dağılım grafikleri Şekil 8-35 de görülmektedir. Bir 1*s* orbitali için, olasılık yoğunluğu $R^2(r)$, bu orbitaldeki elektronun çekirdekte bulunma olasılığının en yüksek olduğu konumu gösterir. Bununla birlikte bu bölgenin hacmi yok sayılacak kadar küçük ($r = 0$) olduğundan, radyal olasılık dağılımı $[4\pi r^2 \times R^2(r)]$ çekirdekte sıfır olur. Hidrojen atomundaki elektron çok büyük bir olasılıkla çekirdekten 53 pm uzakta bulunur. Bu uzaklıkta radyal olasılık dağılımı en üst düzeye ulaşır. Bu değer birinci Bohr yörüngesinin yarıçapına eşittir. Elektronun içinde bulunma olasılığı %95 olan sınır yüzeyin oluşturduğu küre (bakınız Şekil 8-25) çok daha büyük olup, yarıçapı yaklaşık 141 pm dir.

1*s*, 2*s* ve 3*s* orbitallerinin radyal olasılık grafikleri kıyaslandığında, 1*s* elektronunun çekirdeğin yanında bulunma olasılığının 2*s* elektronunkinden, 2*s* elektronunun çekirdeğin yanında bulunma olasılığının ise 3*s* elektronunkinden çok daha yüksek olduğu görülecektir. 2*s* ve 2*p* orbitalleri söz konusu olduğunda ise, 2*s* elektronunun çekirdeğe yakın olma olasılığının 2*p* elektronundan çok daha fazla olduğu görülecektir. 2*s* elektronu 2*p*



▲ ŞEKİL 8-35
Radyal olasılık dağılımları
İlk üç baş kabuk için $4\pi r^2 R^2(r)$ değeri. Açısal kuantum sayısı daha küçük olan orbitaldeki elektron çekirdeğe çok daha fazla yaklaşır. Bu durumda *s* elektronları daha fazla girinim yapar ve aynı *n* değerine sahip diğer orbitallerdeki elektronlara göre çekirdekten daha az perdelenirler.

elektronundan daha fazla girinim özelliğine sahiptir. Girinim özelliği fazla olan elektronlar daha az olan elektronları çekirdeğe daha uzak tutarlar.

Başka elektronların etkisi olmadığı zaman bir elektronla etkileşen çekirdek yükü, atom numarası Z ile aynıdır. Çekirdeğin bir elektron üzerinde etkili olan yükü, diğer elektronların işe karışması ile azalarak bir Z_{et} değerine iner. Z_{et} e **etkin çekirdek yükü** denir. Çekirdek yükünün azalması ile çekirdeğin dıştaki bir elektron üzerindeki çekim gücü azalır ve bunun sonucu olarak, bu elektronun bulunduğu orbitalin enerjisi *yükselir*.

UNUTMAYINIZ

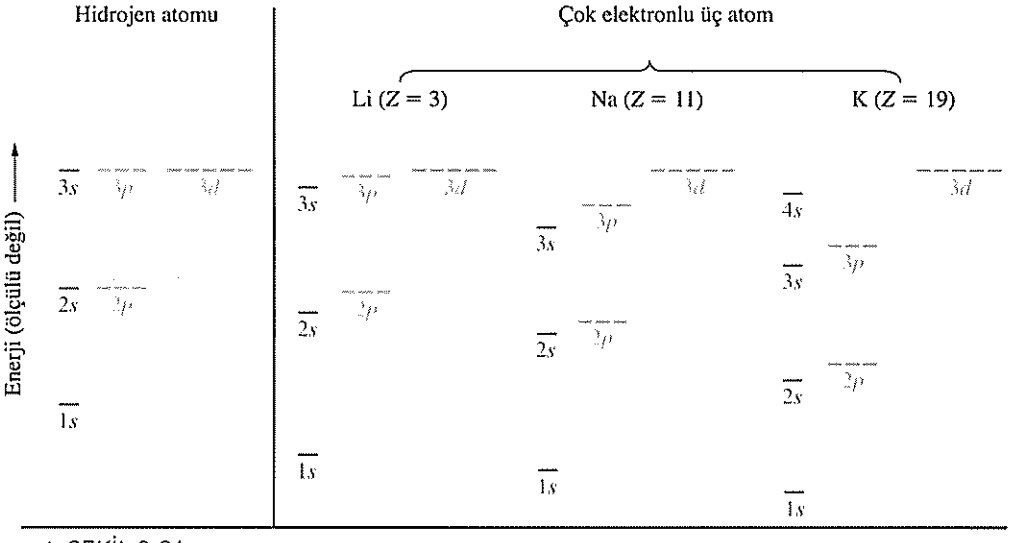
Bir orbitalin enerjisi (E_n) (8.9) eşitliğine benzer şekilde,

$$E_n \propto -\frac{Z_{et}^2}{n^2}$$

orantısı ile verilir.

Özet olarak aynı baş kabuktaki p elektronu ile kıyaslandığında, s elektronu daha yüksek girinim yeteneğine sahiptir ve aynı düzeyde perdelenmez. s elektronu daha büyük Z_{et} tarafından daha güçlü çekilir ve p elektronundan daha düşük enerji düzeyindedir. Benzer şekilde, aynı baş kabuktaki p elektronu d elektronundan daha düşük enerji düzeyinde bulunur. Yani bir baş kabuğun enerji düzeyi farklı alt kabuklara ait enerji düzeylerine ayrılmıştır. Alt kabukların enerjileri ise kendi içerisinde farklı enerji düzeylerine ayrılmamıştır ve bir alt kabuktaki tüm orbitaller aynı etkin çekirdek yükü, Z_{et} nin etkisi altındadır. Sonuç olarak, bir baş kabuktaki her üç p orbitali ve benzer şekilde aynı kabuktaki beş d orbitali aynı enerji düzeyine sahiptir. Diğer alt kabuklardaki orbitaller de birbirleri ile eşit enerji düzeylerine sahiptirler.

Yüksek kuantum sayılarında, birbirini izleyen enerji düzeylerindeki farkın azalması (enerji $1/n^2$ ye bağlıdır) ve alt kabuk enerji düzeyleri arasındaki farklılaşma (perdeleme ve girinimden kaynaklanır) zaman zaman bazı enerji düzeylerinin birbirine binmesine neden olur. Örneğin 4*s* orbitalindeki elektronunun girinimi 3*d* elektronunkinden daha fazla olduğundan, 4*s* enerji düzeyi, daha büyük baş kuantum sayısına sahip olmasına karşın, 3*d* düzeyinden daha düşüktür (Şekil 8-36). Bir sonraki kısımda, bu durumun atomların elektron dağılımı ve atomların periyodik çizelgedeki yeri arasındaki ilişkide, etkin olduğunu gösteren önemli deneysel kanıtlar yer alacaktır.



▲ ŞEKİL 8-36
İlk üç elektron kabuğunun orbital enerji diyagramı
Hidrojen atomunun (solda) ve üç farklı çok elektronlu atomun (sağda) enerji düzeyleri görülmektedir. Her bir çok elektronlu atom, kendi enerji düzeyi diyagramına sahiptir. Hidrojen atomunda bir baş kabuktaki orbitallerin, örneğin 3*s*, 3*p*, 3*d* gibi, enerjileri birbirinin aynı (eşenerjili) iken, çok elektronlu atomlarda bu orbitallerin enerjileri farklılaşmıştır. Diyagramda dikkati çeken diğer bir özellik, metinde anlatıldığı gibi, atom numarasının artması ile tüm orbitallerin enerjilerinde bir azalma olmasıdır. Son olarak 4*s* orbitallerinin 3*d* orbitallerinden daha düşük enerjili olduğuna dikkat ediniz.

8-11 Elektron Dağılımları

Bir atomun **elektron dağılımı**, baş kabuk ve alt kabuklarda elektronların çeşitli orbitallere nasıl yerleştiğini gösterir. Sonraki bölümlerde elementlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, elektron dağılımına bakarak, önceden kestirilebileceği görülecektir. Bu kesimde, bir kurallar dizisi şeklinde yazılmış olan dalga mekaniğinden çıkarılan sonuçların, elementlerin olası elektron dağılımlarının yazımında nasıl yardımcı olacağı anlatılacaktır.

Elektronları Orbitallere Yerleştirme Kuralları

1. **Elektronlar orbitallere, atomun enerjisini en aza indirecek şekilde yerleşirler.** Şekil 8-36, elektronların bir baş kabuktaki alt kabuklara, önce 1*s* sonra 2*s* ve 2*p* vb. tarzında bir sıra ile yerleştiğini göstermektedir. Elektronların orbitallere yerleşme sırası, spektroskopik ve manyetik yöntemler başta olmak üzere, bir takım deneysel çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Elementlerde elektron dağılımının belirlenmesinde, deneylere dayanılarak kurgulanan bu yerleşme sırası izlenmelidir. Birkaç ayrıcalık dışında, orbitallerin elektronlar tarafından doldurulması şu sıra ile gerçekleşir:

   1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, 7p **(8.20)**

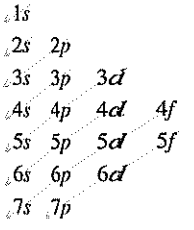
   Bazı öğrenciler, bu yerleşim sırasını akılda tutmak için Şekil 8-37 de gösterilen diyagramı yararlı bir yöntem olarak görürler, fakat orbitallerin doldurulma sırasını kestirmenin en iyi yolu, Kesim 8-12 de görülecek olan, periyodik çizelgeye dayanan yöntemdir.

2. **Bir atomda hiçbir zaman dört kuantum sayısı da aynı olan iki elektron bulunamaz (Pauli dışlama ilkesi).** 1926 yılında Wolfgang Pauli, atomlara ait yayılma spektrumlarının karmaşık yapısını, bir atomda bütün kuantum sayıları aynı olan iki elektronun var olamayacağı savına dayanarak açıklamıştır. İlk üç kuantum sayısı n, ℓ, ve m_ℓ özgün bir orbitali belirler. İki elektronun bu üç kuantum sayısı aynı olabilir. Fakat bu durumda bu iki elektron farklı m_s spin kuantum sayısına sahip olmalıdır. Başka bir deyişle, *bir orbitalde yalnızca iki elektron bulunabilir ve bu elektronlar zıt spinlere sahip olmalıdırlar.*

   Her bir orbitalde ancak iki elektron bulunabileceğinden, bir alt kabuğun alabileceği elektron sayısı, alt kabuktaki orbital sayısının iki katına eşittir. Bu durumda, *tek bir* orbitalden oluşan *s* alt kabuğunun alabileceği elektron sayısı *iki, üç* orbitalden oluşan *p* alt kabuğun alabileceği elektron sayısı *altı*, vb. dir.

3. **Elektronlar eşenerjili orbitallere öncelikle birer birer yerleşirler. Hund kuralı** olarak bilinen bu kurala göre, bir atom olabildiğince çok sayıda eşleşmemiş elektrona sahip olma eğilimi gösterir. Bu davranış, aynı tür elektriksel yüke sahip olan elektronların birbirinden olabildiğince uzaklaşmaya çalışmaları olgusu ile açıklanabilir. Elektronlar bunu sağlayabilmek için yarı dolmuş bir orbitaldeki elektronla eşleşmek yerine eşenerjili boş bir orbitale yerleşirler.

◀ Orbitallerin bu dolma sırası, kabaca, orbital enerjilerinin artma sırası ile uyumludur. Fakat atomun en kararlı durumda olma isteği bu kuralın üstündedir.



▲ ŞEKİL 8-37
Elektron alt kabuklarının dolma sırası
En üsttekinden başlayarak oklar izlendiğinde (8.20) eşitliğinde verilenle aynı sıra elde edilir.

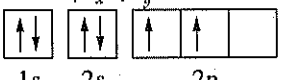
Elektron Dağılımının Gösterilişi

Farklı element atomlarındaki elektron dağılımlarını ele almadan önce, elektron dağılımlarının nasıl gösterilebileceğini öğrenmeliyiz. Örneğin, karbon atomunun elektron dağılımı aşağıdaki üç yöntemden biri ile gösterilebilir.

spdf gösterimi (kısaltılmış): C $1s^2 2s^2 2p^2$

spdf gösterimi (ayrıntılı): C $1s^2 2s^2 2p^1_x 2p^1_y$

orbital diyagramı: C



Karbonun atom numarası 6 olduğundan, her üç yöntemde de *altı* elektron yazılmıştır. Bu elektronlardan ikisi 1*s*, ikisi 2*s*, son ikisi de 2*p* alt kabuğundadır. Kısaltılmış ***spdf gösterimi*** eşit enerjili orbitallere elektronların

▶ Elektronun dağılımları, Ek-D deki gibi genellikle kısaltılmış *spdf* gösterimi ile verilirler.

nasıl dağıldığını göstermeyip, yalnızca her bir alt kabuktaki toplam elektron sayısını gösterir. Ayrıntılı *spdf* gösteriminde ise elektronların yerleşiminde Hund kuralına uyulduğu açıkça belirtilmiş olup, 2*p* alt kabuğunun 2*p* orbitallerinin ikisinde de birer elektronun bulunduğu, üçüncüsünün ise boş olduğu gösterilmiştir. **Orbital diyagramı** ise her bir alt kabuğu tek tek orbitallere ayırmıştır (kutular şeklinde çizilmiş). Bu gösterim, enerji düzeyleri diyagramına benzemektedir. Ancak burada, enerji artışı aşağıdan yukarı değil, soldan sağa doğrudur.

Orbitallerdeki elektronlar oklarla gösterilmiştir. Yukarıya doğru çizilmiş ok spinin $(+\frac{1}{2})$, aşağı doğru çizilmiş ok spinin $(-\frac{1}{2})$ olduğunu belirtir. Aynı orbitalde bulunan zıt spinli iki elektron *eşleşmiştir* (↑↓). Örneğin karbon atomunun 1*s* ve 2*s* orbitallerindeki elektronlar eşleşmişlerdir. Aynı alt kabukta bulunan farklı orbitallere teker teker yerleşmiş elektronlar *paralel* spinlidirler (oklar aynı yönde çizilir). Bu nedenle, karbon atomunun 2*p* alt kabuğu, orbital diyagramında, [↑][↓][ ] şeklinde değil, [↑][↑][ ] şeklinde çizilmiştir. Kuramlar ve denemeler, orbitallere tek yerleşmiş elektronların, paralel spine sahip olduğu bir elektronik yapının, atomun düşük enerjili halini daha iyi temsil ettiğini doğrulamıştır. [↑][↓][ ] şeklindeki orbital diyagramı ile gösterilen dağılım gerçekte karbonun uyarılmış halidir ve bu şekilde paralel spinli olmayan ve eşleşmemiş elekron bulunduran orbital diyagramları uyarılmış hali ifade eder.

Burada sözü edilen izole atomlar için, en kararlı ya da enerji yönünden en uygun olan dağılım, *temel hal elektron dağılımı* olarak adlandırılan elektron dağılımıdır. Bu kısmın sonlarında daha az kararlı elektron dağılımları da kısaca açıklanacaktır. Bu tür elektron dağılımına sahip atomlara *uyarılmış haldeki* atomlar denir.

Aufbau İşlemi

Elektron dağılımlarını yazmada **aufbau işlemini** kullanacağız. *Aufbau* Almanca bir kelime olup "inşa etme" anlamına gelir ve atom numarası artarken elektron dağılımının nasıl "inşa" edileceğini gösterir. Bir atomdan hemen sonra gelen atomun çekirdeğindeki proton sayısı bir, nötron sayısı bir ya da daha fazla artar. Bu durumda ilave edilecek bir elektronun hangi orbitale gireceğinin belirlenmesi gerekir.

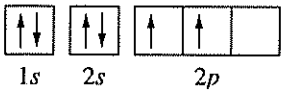
Z = 1, H. Elektron için en düşük enerji hali 1*s* orbitalidir. Dolayısı ile hidrojenin elektron dağılımı $1s^1$ dir.

Z = 2, He. Gelen ikinci elektron 1*s* orbitaline zıt spinli olarak girer ve helyumun elektron dağılımı $1s^2$ dir.

Z = 3, Li. Üçüncü elektron 1*s* orbitaline giremez (Pauli dışlama ilkesi). Bu nedenle, bu elektron boş orbitallerden enerjisi en düşük olan 2*s* orbitaline girer ve elektron dağılımı $1s^2\ 2s^1$ olur.

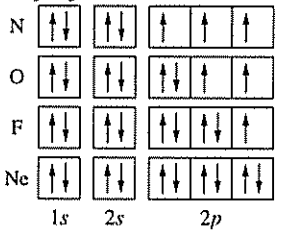
Z = 4, Be. Berilyum atomunun elektron dağılımı $1s^2\ 2s^2$ dir.

Z = 5, B. Bor atomunda 2*p* alt kabuğu dolmaya başlar ve elektron dağılımı $1s^2\ 2s^2\ 2p^1$ şeklinde yazılır.



Z = 6, C. Gelen son elektron da 2*p* alt kabuğuna girer. Fakat 2*p* orbitallerinden boş olanına, bir önceki elektronla paralel spinli (Hund kuralı) olarak girer. Karbon atomunun elektron dağılımı, orbital diyagramı yöntemi ile soldaki şu şekilde gösterilebilir.

Z = 7–10, N dan Ne ye kadar. Azottan neona kadar dört elementlik dizide 2*p* orbitallerinin dolması tamamlanır. Azotta eşleşmemiş elektron sayısı en fazla iken (3), neonda sıfır olur. Bu elementlerin orbital diyagramları şu şekildedir.



Z = 11–18, Na dan Ar a kadar. Sodyumdan argona kadar elementlerin yer aldığı bu dizideki 8 element, yukarıda anlatılan lityumdan neona kadar olan 8 elementle yakın paralellik gösterir. Ancak bu kez elektronlar 3*s* ve 3*p* orbitallerine girerler ve tüm elementlerin 1*s*, 2*s* ve 2*p* düzeni neonun elektron dağılımı olduğundan, bu dağılıma "neon göbeği" adını verip [Ne] ile simgeleyeceğiz. Daha sonraki elementlerin elektron dağılımını ise [Ne] ile başlatacağız. En yüksek baş kuantum sayısına sahip elektron kabuğunda (en dış kabuk veya *değerlik kabuğu*) bulunan elektronlara **değerlik elektronları** denir. Aşağıda sodyumun elektron dağılımı *asal gaz göbeği* ve $3s^1$ değerlik elektronundan oluşmaktadır. Üçüncü periyodun diğer elementlerinin yalnızca değerlik kabuklarının elektron düzeni gösterilmiştir.

Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
$[Ne]3s^1$	$3s^2$	$3s^23p^1$	$3s^23p^2$	$3s^23p^3$	$3s^23p^4$	$3s^23p^5$	$3s^23p^6$

Z = 19 ve 20, K ve Ca. Argondan sonra, bir sonraki alt kabuk olan 3*d* yerine 4*s* dolar. Bu periyotta $1s^22s^22p^63s^23p^6$ dağılımı için asal gaz göbeğini [Ar] ile simgeleyerek potasyum ve kalsiyumun elektron dağılımını aşağıdaki gibi yazabiliriz.

K: $[Ar]4s^1$ ve Ca: $[Ar]4s^2$

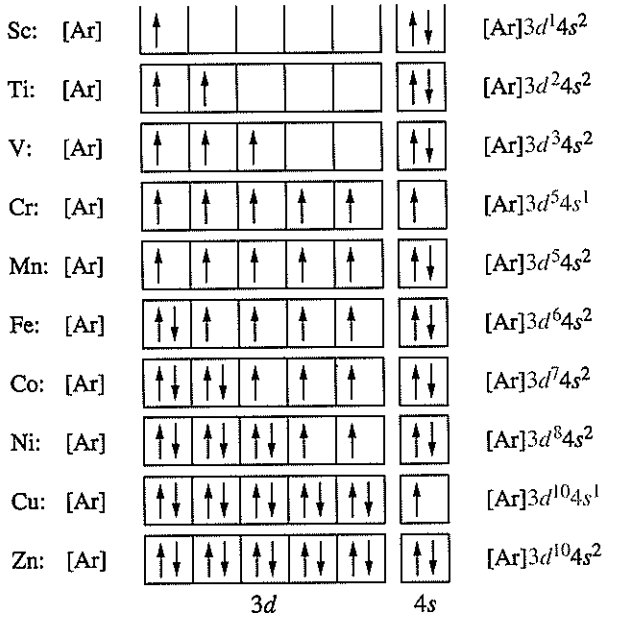
Z = 21–30, Sc dan Zn ya kadar. Bu elementler dizisinde temel ortak yan, üçüncü kabuğun *d* orbitallerinin dolmasıdır. *d* alt kabuğunun alabileceği toplam elektron sayısı 10 olduğuna göre, bu dizide 10 element yer alır. Dizinin ilk elementi olan skandiyumun elektron dağılımı iki şekilde yazılabilir.

(a) Sc: $[Ar]3d^14s^2$ ya da (b) Sc: $[Ar]4s^23d^1$

◀ Yöntem (b), orbitallerin dolma sırasını daha iyi belirtmekle birlikte, yöntem (a) iyonlaşmada elektronların uzaklaşma sırasını daha iyi belirtir. İyonlaşmayı gelecek bölümde göreceğiz.

Her iki yazım şekli de yaygın olarak kullanılmaktadır. (a) yazım şeklinde bir baş kabuğun tüm alt kabukları bir arada yazıldıktan sonra, en yüksek baş kuantum düzeyinin alt kabukları yazılmaya başlanmıştır. (b) yazım şeklinde ise orbitaller dolum sırasına göre yazılmıştır. Bu kitapta (a) yazım şekli kullanılacaktır.

On elementlik bu dizinin elektron dağılımları, hem orbital diyagramına, hem de *spdf* gösterimine göre aşağıda sıralanmıştır.



Bu dizide, bakır ve krom dışında, *d* orbitalleri düzenli bir şekilde dolar. Bakır ve kromun bu düzenden sapmasının nedeni, 3*d* alt kabuğundaki

elektron dağılımının, Cr ($3d^5$) da olduğu gibi *yarı dolu* veya Cu ($3d^{10}$) da olduğu gibi *tam dolu* hallerde, özel bir kararlılığa sahip olmasıdır.

Z = 31–36, Ga dan Kr a kadar. Altı elementlik bu dizide $4p$ alt kabuğu dolar ve kriptonla tamamlanır.

$$\text{Kr: } [\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^6$$

Z = 37–54, Rb dan Xe a kadar. Onsekiz elementlik bu dizide, sıra ile $5s$, $4d$ ve $5p$ alt kabukları dolar ve dizi ksenon ile son bulur.

$$\text{Xe: } [\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^6$$

Z = 55–86, Cs dan Rn a kadar. 32 elementlik bu dizide, birkaç istisna dışında, sıra ile $6s$, $4f$, $5d$ ve $6p$ alt kabukları dolar ve seri radon ile tamamlanır.

$$\text{Rn: } [\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^6$$

Z = 87–?, Fr dan ? a kadar. Fransiyum ile başlayan bu dizide, sıra ile $7s$, $5f$, $6d$ ve varsayım olarak $7p$ alt kabukları dolar. Son yıllarda $7p$ alt kabuğunun dolmakta olduğu yeni elementler keşfedilmiş, ancak tam olarak belirlenmemişlerdir.

Ek D de olası elektron dağılımlarının tam bir listesi verilmiştir.

8-7 MERAK EDİYORSANIZ...

Krom ve bakırın elektron dağılımları neden anormaldir?

Öncelikle, elektron-elektron itmesi, elektron-çekirdek çekimi, diğer elektron-elektron etkileşmeleri arasındaki dengeyi algılamamız gerekir. Çünkü çok elektronlu atomlarda elektron hareketleri birbiri ile bağlantılılı bir şekilde en kararlı elektron dizilişi sağlar. Sonra, Hund'un "En fazla sayıda eşleşmemiş elektron içeren alt kabuk elektron dağılım en kararlı haldir" kuralını hatırlayınız. 340. sayfada karbonun temel haldeki elektron dizilişinin $1s^2\,2s^2\,2p^2$ şeklinde olduğu ifade edilmişti. Burada, iki eşleşmemiş elektron iki alt kabukta yer almıştır. Basit atomlar ve iyonlar üzerinde yapılan hesaplamalar, eşleşmemiş elektron içeren hallerde daha büyük elektron-elektron itmesi olmasına rağmen, bu itme daha büyük değerdeki elektron-çekirdek çekimi ile dengelenir. Çünkü eşleşmemiş elektron içeren elektron dağılımlarında elektronlar çekirdeğe daha yakındır. Böylece eşleşmemiş elektron dağılımları daha çok yeğlenir.

Kromun temel haldeki elektron dağılımının belirlenmesinde, $[\text{Ar}]3d^44s^2$ ve $[\text{Ar}]3d^54s^1$ dağılımları arasından birini seçmek durumundayız; çünkü $3d$ ve $4s$ orbitallerinin enerjileri birbirine oldukça yakındır. Bu durumda en kararlı elektron dağılımını belirlemek için Hund kuralını kullanmamız gerekir ki, en fazla sayıda eşleşmemiş elektron içeren yapı bu durumda $[\text{Ar}]3d^54s^1$ dir.

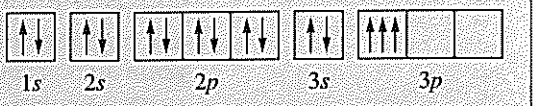
Bakır için $[\text{Ar}]3d^94s^2$ ve $[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$ dağılımından birini seçmemiz gerekir. Her iki durumda da eşleşmemiş elektron sayısı eşittir ve bu yüzden Hund kuralı böyle bir durum için bize yardımcı olamaz. Peki $[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$ dağılımının çok daha kararlı olması nereden kaynaklanmaktadır? Tam dolu (veya yarı dolu) altkabuklar küresel simetrik yük yoğunluğuna sahiptir ve bu yapıya sahip elektron dağılımları kararlıdır. Bu özelliğe sahip alt kabuklarda ne kadar çok elektron varsa yapı o kadar kararlı olur. $[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$ elektron dağılımı, $[\text{Ar}]3d^94s^2$ elektron dağılımından kararlıdır; çünkü birinci durumda $3d$ orbitalleri tam doludur. Bunun gibi, neredeyse bütün normal dışı dağılımlar ya tam dolu ya da yarı dolu alt kabukları doldururlar.

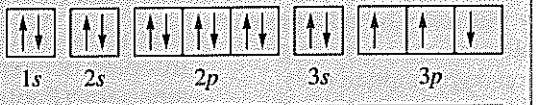
ÖRNEK 8-13 Temel ve Uyarılmış Haller için Verilen Atom Orbital Diyagramlarının Doğruluğunun Anlaşılması

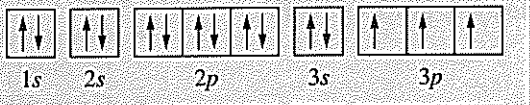
Aşağıda verilen orbital diyagramlarının hangileri doğrudur? Açıklayınız. Nötür bir atomun uyarılmış ve temel haldeki durumları için hangi diyagram doğrudur?

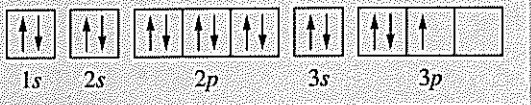
Analiz

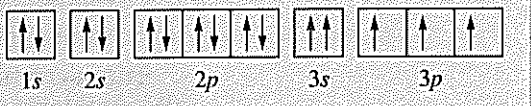
Böyle bir orbital diyagramı için en iyi yol her zaman Hund Kuralı ve Pauli dışlama ilkesini uygulamaktır. İlk kural temel halin mi yoksa uyarılmış halin mi yazılacağı, ikincisi ise diyagramın doğruluğunun belirlenmesidir.

(a) 

(b) 

(c) 

(d) 

(e) 

Çözüm

(a) (a) diyagramını incelersek 1*s*, 2*s*, 2*p* ve 3*s* orbitallerinin hepsinin Paulinin dışlama ilkesinde ifade edildiği gibi zıt sipinli iki elektron içerdiği gözlenir. Oysa aynı orbitalde üç elektron bulunduran 3*p* orbitali bu kurala uymaz.

(b) (b) diyagramında 1*s*, 2*s*, 2*p* ve 3*s* örbitalleri zıt sipinli iki elektron içerir ve buraya kadar doğrudur. 3*p* orbitali Hund ilkesinde belirtildiği şekilde farklı orbitallerde üç elektron bulundurur ancak bunlardan ikisinin spini üçüncüsünün spinine göre ters yönlüdür. O halde bu gösterim bir elementin uyarılmış halini temsil eder.

(c) (c) diyagramını (b) diyagramı ile karşılaştırırsak, 3*p* alt kabuğundaki üç elektronun da aynı spinli olduğunu görürüz ve bu bir element için temel hali ifade eder.

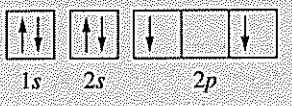
(d) (d) diyagramını (b) diyagramı ile karşılaştırırsak, 3*p* alt kabuğundaki üç elektronundan ikisi eşleşirken diğer biri eşleşmemiştir. Bu da aynı şekilde uyarılmış bir haldir.

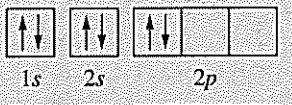
(e) (e) diyagramına incelersek 1*s*, 2*s* ve 2*p* orbitallerinin zıt sipinli iki elektron içerdiği gözlenir. Oysa 3*p* orbitali aynı spinli iki elektron içerir ve bu Pauli kuralına uymaz. Yani diyagram yanlıştır.

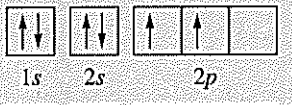
Değerlendirme

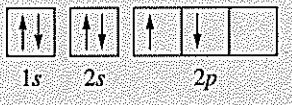
Orbital diyagramları elektronların dağılımını göstermek için kullanışlı bir yöntemdir, ancak, Hund Kuralı ve Pauli dışlama ilkesini uygulamaya özen göstermemiz gerekir.

ALIŞTIRMA A: Aşağıda verilen orbital diyagramlarından hangileri eşdeğerdir?

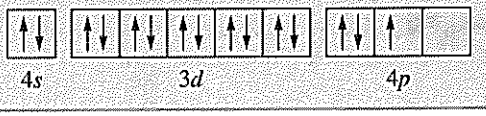
(a) 

(b) 

(c) 

(d) 

ALIŞTIRMA B: Nötür bir tür için aşağıda verilen orbital diyagramı temel hali mi, yoksa uyarılmış hali mi temsil eder?

[Ar] 

8-12 Elektron Dağılımları ve Periyodik Çizelge

Atomlardaki orbitallere elektronların olası yerleşimi ile ilgili Aufbau işlemi yukarıda anlatılmıştı. Her ne kadar elektron dağılımı çok özet olarak verilmiş gibi gelse de, periyodik çizelgenin daha iyi anlaşılmasında yol gösterici olacaktır. 1920 dolayında Niels Bohr, periyodik çizelge ile kuantum kuramı arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmaya başlamıştı. Bohr, ana bağlantının elektron dağılımında olduğunu belirtmişti. *Periyodik çizelgenin aynı grubunda yer alan elementler, benzer elektron dağılımına sahiptir.*

▶ Hidrojen, bir alkali metal olmamasına karşın, elektron dağılımından ($1s^1$) dolayı 1. grupta gösterilir.

Çizelge 8.2 de, periyodik çizelgedeki üç grupta bulunan elementlerin elektron dağılımları gösterilmiştir. Her bir grup içerisinde elektron dağılımındaki benzerlik açık olarak görülmektedir. En yüksek baş kuantum sayısına sahip kabuk (en dış kabuk veya değerlik kabuğu) n ile gösterilirse;

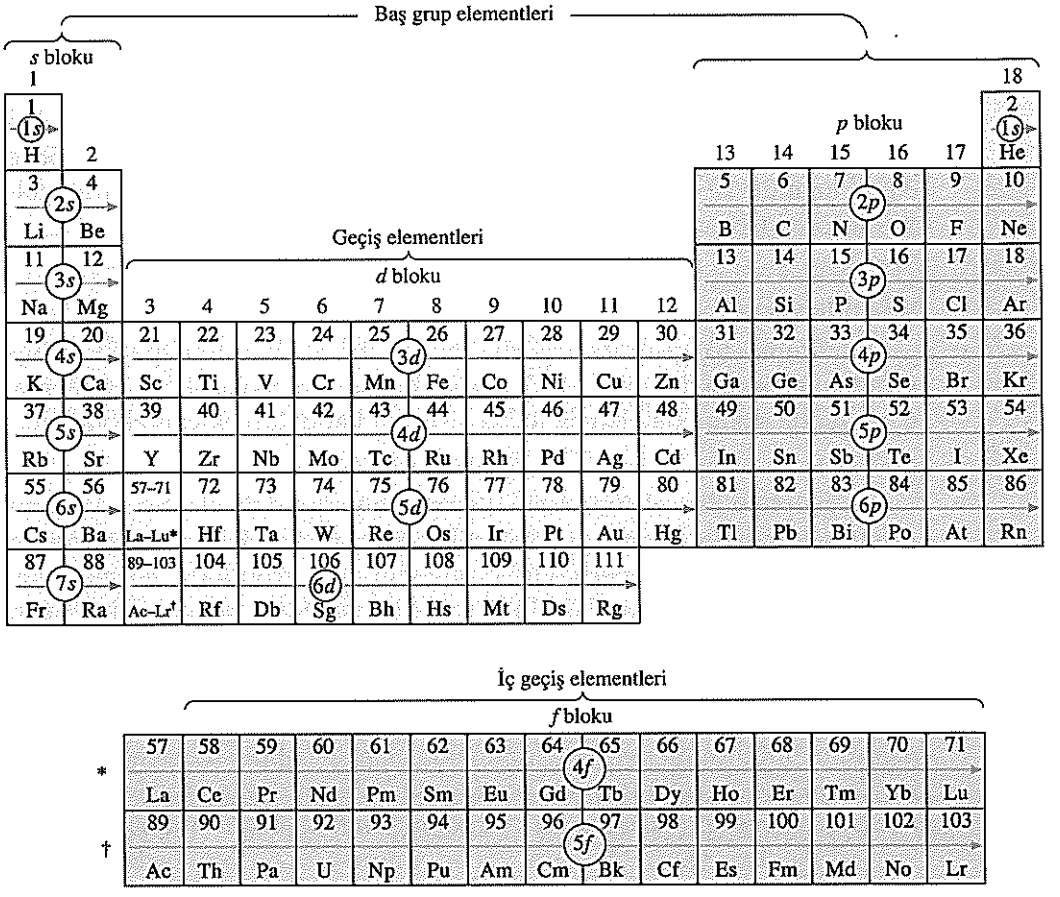
- Grup 1 deki atomlar (alkali metaller), en dış kabuğun s orbitalinde *tek* elektrona sahiptir, yani ns^1 yapısındadır.
- Grup 17 deki atomlar (halojenler), en dış kabukta ns^2np^5 şeklinde *yedi* elektrona sahiptirler.
- Grup 18 deki atomlar (asal gazlar), yalnızca iki elektronu bulunan helyum dışında, en dış kabukta ns^2np^6 şeklinde *sekiz* elektrona sahiptirler.

Tüm ayrıntılar için geçerli olmasa da, Şekil 8-38 deki periyodik çizelge, alt kabukların elektronlar tarafından dolduruluşuna göre, aşağıdaki dört ana bloka ayrılıp aufbau işlemi ile ilişkilendirilmiştir.

- ***s bloku.*** En yüksek baş kuantum sayısının *(n)*, *s* orbitalleri dolmaktadır. *s* blokunda Grup 1 ve 2 elementleri yer alır (Ayrıca 18. gruptaki He).
- ***p bloku.*** En yüksek baş kuantum sayısının *(n)*, *p* orbitalleri dolmaktadır. *p* blokunda Grup 13, 14, 15, 16, 17 ve (He hariç) 18 elementleri yer alır.
- ***d bloku.*** *n*-1 baş kabuğunun (en dış kabuktan bir önceki) *d* orbitalleri dolmaktadır. *d* blokunda Grup 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 elementleri yer alır.
- ***f bloku.*** *n*-2 baş kabuğunun *f* orbitalleri dolmaktadır. *f* blokunda lantanitler ve aktinitler yer alır.

ÇİZELGE 8.2 Bazı Element Gruplarının Elektron Dağılımı

Grup	Element	Elektron Dağılımı
1	H	$1s^1$
	Li	$[He]2s^1$
	Na	$[Ne]3s^1$
	K	$[Ar]4s^1$
	Rb	$[Kr]5s^1$
	Cs	$[Xe]6s^1$
	Fr	$[Rn]7s^1$
17	F	$[He]2s^22p^5$
	Cl	$[Ne]3s^23p^5$
	Br	$[Ar]3d^{10}4s^24p^5$
	I	$[Kr]4d^{10}5s^25p^5$
	At	$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^5$
18	He	$1s^2$
	Ne	$[He]2s^22p^6$
	Ar	$[Ne]3s^23p^6$
	Kr	$[Ar]3d^{10}4s\ 4p^6$
	Xe	$[Kr]4d^{10}5s^25p^6$
	Rn	$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^6$



▲ ŞEKİL 8-38
Elektron dağılımları ve periyodik çizelge
Bu şekli aufbau ilkesinin uygulanmasında yol gösterici olarak kullanmak için, önce bir elementin çizelgedeki yerini belirtiniz. Sonra bu konuma ait listede verilen alt kabukları doldurunuz. Örneğin, germanyum ($Z = 32$) mavi renkli $4p$ dizisinin 14 üncü grubunda bulunmaktadır. Dolu alt kabuklar $1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^2$, $3p^6$, $4s^2$ ve $3d^{10}$ dur. $Z = 3$'de $4p$ alt kabuğuna ikinci elektron da girer. Böylece germanyumun elektron dağılımı $[Ar]3d^{10}4s^24p^2$ şeklinde olur. *d* bloku elementlerinden bir kaçı ile *f* bloku elementlerinden bazılarında burada bahsedilen alt kabukların dolma sırası kurallarında bazı sapmalar görülür.

Çizelge 8.2 de dikkat çekici diğer bir nokta, bir elementin elektron dağılımı yazılırken bir önceki periyodun sonundaki asal gazın göbek olarak gösterilmesi ve ele alınan elementin atom numarasına eşit sayıda elektron eklenmesidir. Bu gösterim şekli esas alınarak, periyodik çizelge bloklara bölündüğünde, elektron dağılımını kestirebilmek çok basitleşmiş olacaktır. Örneğin, 5 inci periyotta bulunan stronsiyumun değerlik kabuğundaki elektron dağılımı $5s^2$ dir. Stronsiyumun geriye kalan elektronlarının dağılımı, bir önceki periyodun sonundaki asal gaz olan kriptonunki ile aynıdır. Buna göre stronsiyumun elektron dağılımı;

$$Sr: [Kr]5s^2$$

13-18 gruplarında yer alan *p* bloku elementlerinin değerlik elektronları sayısı ise, 1 den 6 ya kadar değişir. Örneğin 3 cü periyod ve 13 cü grupta bulunan alüminyumun değerlik kabuğundaki elektron dağılımı $3s^23p^1$ şeklindedir. Alüminyum üçüncü periyotta yer aldığından, $n = 3$ alınıp, elektron dağılımı,10 elektron içeren neon göbeğine 3 elektron eklenerek yazılır. Buna göre, alüminyumun elektron dağılımı

$$Al: [Ne]3s^23p^1$$

Galyum da 13. grupta olmakla birlikte, dördüncü periyotta yer alır. Galyumun değerlik kabuğundaki elektron dağılımı $4s^24p^1$ şeklindedir. Galyumun elektron dağılımı yazılırken, üçüncü periyodun sonundaki asal gaz argonun elektron dağılımına, dördüncü periyotta dolmakta olan alt kabuklar 4*s*, 3*d* ve 4*p* eklenir. 4*p* alt kabuğu dolmaya başlamadan önce 3*d* alt kabuğu 10 elektron ile doldurulmalıdır. Bunun sonucu olarak galyumun elektron dağılımı

$$\text{Ga: [Ar]}3d^{10}4s^24p^1$$

şeklinde yazılır.

Talyum ise 13. grup ve 6. periyotta yer alır. Talyumun değerlik kabuğundaki elektron dağılımı ise, 5. periyodun sonundaki asal gaz göbeğine, 6. periyotta dolmakta olan 6*s*, 4*f*, 5*d* ve 6*p* alt kabukları eklenerek yazılır.

$$\text{Tl: [Xe]}4f^{14}5d^{10}6s^26p^1$$

13. gruptaki tüm elementlerin değerlik kabuğundaki elektron dağılımı ns^2np^1 şeklindedir. Bir grupta değerlik kabuğundaki elektron dağılımının tekrarlanarak gitmesi, periyodik çizelgenin aynı grubunda yer alan elementlerin benzer kimyasal özelliklere sahip olmasının temelini oluşturur.

Geçiş elementleri *d* blokunda yer alırlar ve bunların elektron dağılımları da benzer tarzda yazılır. Bir geçiş elementinin elektron dağılımı, bir önceki periyodun sonundaki asal gazın elektron dağılımına, geçiş elementinin bulunduğu periyotta dolmakta olan alt kabuklar eklenerek yazılır. Önceki asal gazdan hemen sonra *s* alt kabuğu dolar. Geçiş metallerinin çoğu, değerlik kabuğunun *s* alt kabuğunda 2 elektron içerirken, birkaçı tek elektron içerir. Örneğin, vanadyumun (Z= 23) 4*s* alt kabuğunda 2 değerlik elektronu bulunur ve önceki asal gaz, argonun elektron dağılımı dışında *üç tane* 3*d* elektronu bulunmalıdır (2+18+3=23).

$$\text{V: [Ar]}3d^34s^2$$

▶ *Alt sıradaki d ve f bloku* elementlerinin elektron dağılımları için ezberlenmesi gereken bazı istisnaların olduğunu akılda tutmak gerekir. Az sayıda kişi istisnaların tümünü bilmektedir. Bu elektron dağılımlarının herhangi bir element için nasıl olduğunu merak edenler Ek D gibi yardımcı çizelgelere bakabilirler.

Krom (Z= 24) ise daha önce belirtildiği gibi, 4*s* alt kabuğunda tek bir elektron içerir. Gene göbek elektron dağılımı argodaki gibidir (1 + 18 + 5 = 24). Sonuç olarak *beş* 3*d* elektronu bulunmalıdır.

$$\text{Cr: [Ar]}3d^54s^1$$

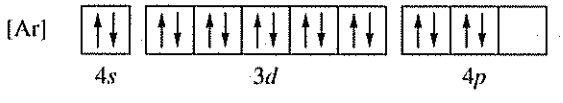
Bakır da (Z=29), krom gibi 4*s* alt kabuğunda tek elektron içerir. Bu nedenle argon göbeği esas alındığında bakırın 3*d* alt kabuğunda 10 elektron bulunur (1 + 18 + 10 = 29).

$$\text{Cu: [Ar]}3d^{10}4s^1$$

İlk *d*-bloku alt kabuklarının doldurulusundaki düzgün gidişin iki istisnası krom ve bakırdır. Daha ağır elementlerin (Ek D) elektron dağılımları incelendiğinde, kolayca açıklanamayacak başka özel durumlar da görülecektir. Örneğin, gadolinyumun elektron dağılımı [Xe] $4f^76d^16s^2$ şeklindedir. 8-14 dan 8-16 ye kadar örneklerde, burada anlatılan esaslar kullanılarak yazılmış birkaç elektron dağılımı verilmiştir.

8.8 KAVRAMI DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki orbital diyagramı uyarılmış haldeki bir atomu temsil etmektedir. Bu atomu belirleyin ve temel halinin orbital diyagramını yazınız.



ÖRNEK 8-14 Elektron Dağılımı için *spdf* Gösteriminin Kullanılması

(a) Aşağıdaki elektron dağılımına sahip elementi belirleyiniz.

$$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$$

(b) Arseniğin elektron dağılımını yazınız.

Analiz

Nötür bir atomda toplam elektron sayısı elementin atom numarasına eşittir. Bütün elektronlar, elektron dağılımında yer almalıdır.

Çözüm

(a) Üst olarak yazılı rakamlar toplandığında (2 + 2 + 6 + 2 + 5) elementin atom numarası olarak 17 bulunur. Atom numarası 17 olan element ise klordur.

(b) Arsenik (Z = 33), 4. periyot ve 15. grupta bulunur. Arseniğin değerlik kabuğundaki elektron dağılımı $4s^2 4p^3$ tür. Üçüncü periyodun sonundaki asal gaz ise, Ar (Z = 18) dur ve dördüncü periyotta alt kabuklar 4*s*, 3*d* ve 4*p* sırasına göre dolar. Elektron dağılımında 33 elektron bulunması gerektiğine göre, arseniğin elektron dağılımı

$$\text{As: } [\text{Ar}]3d^{10}4s^2 4p^3$$

Değerlendirme

Elektron sayılarını doğru olarak hesaplayıp, orbital sırasını bildiğimiz takdirde, elektron dağılımını doğru olarak değerlendirebilir ve yazabiliriz.

ALIŞTIRMA A: Elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$ olan elementi bulunuz.

ALIŞTIRMA B: İyodun elektron dağılımını *spdf* yöntemi ile gösteriniz. İyodun 3*d* alt kabuğunda kaç elektron vardır? İyot atomunda kaç tane eşleşmemiş elektron vardır?

ÖRNEK 8-15 Elektron Dağılımının Gösterimi

(a) Cıvanın elektron dağılımını yazınız **(b)** Kalayın elektron dağılımına ait orbital diyagramını gösteriniz.

Analiz

Elektron dağılımını yazmak için elementin periyodik çizelgede yerini belirler ve hangi alt kabuğunun dolu olduğunu tespit ederiz. Büyük atom numarasına sahip elementlerin lantanit ve aktinit elementleri olabileceğini de dikkate almalıyız.

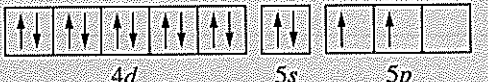
Çözüm

(a) 6. periyod ve 12. grupta bulunan cıva, üçüncü geçiş elementleri dizisinin sonundadır ve 5*d* alt kabuğu doludur ($5d^{10}$). Beşinci periyodun sonundaki asal gaz, ksenondur. Ksenon ile cıva arasında lantanitler bulunur ve cıvanın 4*f* orbitalleri de doludur ($4f^{14}$). Bütün bu bilgiler birlikte değerlendirildiğinde, cıvanın elektron dağılımı

$$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^2$$

(b) Kalay, 5. periyod ve 14. grupta bulunur. Kalayın değerlik kabuğunda elektron dağılımı $5s^2 5p^2$ şeklindedir. Dördüncü periyodun sonundaki asal gaz, kriptondur (*Z*=36). Bu periyotta dolmaya devam eden alt kabuklar 5*s*, 4*d* ve 5*p* dir. 5*p* dışındaki tüm orbitaller doludur. 5*p* orbitallerinden ikisinde paralel spinli birer elektron bulunmaktadır ve diğer 5*p* orbitali boştur.

Sn: [Kr]



Değerlendirme

Elektron dağılımı yazılırken periyodik çizelgeden faydalanmak yararlı olur.

ALIŞTIRMA A: Demirin elektron dağılımını orbital diyagramı ile gösteriniz.

ALIŞTIRMA B: Bizmutun elektron dağılımını orbital diyagramı ile gösteriniz.

ÖRNEK 8-16 Elektron Dağılımı ile Periyodik Çizelgenin İlişkisi

(a) Brom atomundaki değerlik elektronlarının, **(b)** tellür atomundaki $5p$ elektronlarının, **(c)** indiyum atomundaki eşleşmemiş elektronların, **(d)** gümüş atomundaki $3d$ ve $4d$ elektronlarının sayılarını belirleyiniz.

Analiz

Önce elementlerin atom numaraları ve periyodik çizelgedeki yerleri saptanır. Sonra çizelgedeki yerin anlamı değerlendirilir.

Çözüm

(a) Brom ($Z = 35$) 17. gruptadır. Bu gruptaki tüm atomlarda *yedi* değerlik veya dış kabuk elektronu vardır.

(b) Tellür ($Z = 52$) 5. periyod ve 16. gruptadır. 6 tane dış kabuk elektronu vardır ve bunların ikisi s diğer dördü p elektronudur. Tellürün değerlik kabuğundaki elektron dağılımı $5s^2 2p^4$ şeklindedir. Tellür atomu *dört* tane $5p$ elektronuna sahiptir.

(c) İndiyum ($Z = 49$) 5. periyod ve 13. gruptadır. İndiyumun iç kabuğundaki elektron dağılımı $[Kr]4d^{10}$ şeklindedir. İç kabuktaki tüm bu elektronlar eşleşmiştir. Değerlik kabuğundaki elektron dağılımı ise $5s^2 5p^1$ dir. $5s$ elektronları da eşleşmiştir. $5p$ elektronu ise eşleşmemiştir ve indiyum atomunda *bir* eşleşmemiş elektron bulunur.

(d) Ag ($Z = 47$) 5. periyod ve 11. gruptadır. 4. periyodun sonundaki asal gaz kriptondur ve $4d$ alt kabuğu doludur ($4d^{10}$). $5s$ orbitalinde bir elektron vardır. Buna göre gümüşün elektron dağılımı

$$Ag: [Kr]4d^{10}5s^1$$

şeklindedir ve gümüş atomunda on tane $3d$ ve on tane $4d$ elektronu vardır.

Değerlendirme

Yine periyodik çizelge ile elektron dağılımı arasındaki ilişki çok açıktır.

ALIŞTIRMA A: Kalay atomundaki **(a)** dolu ve kısmen dolu kabuk, **(b)** $3p$ elektronları, **(c)** $5d$ elektronları ve **(d)** eşleşmemiş elektronların sayısını belirleyiniz.

ALIŞTIRMA B: **(a)** İtriyum atomundaki $3d$ elektronu, **(b)** germanyum atomundaki $4p$ elektronu ve **(c)** altın atomundaki eşleşmemiş elektron sayısını belirleyiniz.

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Lazer cihazları, kompakt disk oynatıcılar, barkot okuyucular, laboratuvar aletleri, kozmetik, diş sağlığı ve tıp gibi çok yaygın alanlarda kullanılmaktadır. Lazerler, uyarılmış emisyon olarak adlandırılan bir olay ile çok kullanışlı ışıklar yayarlar. Lazerlerin nasıl çalıştığını öğrenmek için bakınız: Focus On feature for Chapter 8, Helium-Neon Lasers, on MasteringChemistry site.

Özet

8-1 Elektromanyetik Işıma—**Elektromanyetik ışıma; dalga** şeklinde bir çeşit enerji aktarımıdır. Elektromanyetik ışıma dalgaları; dalga tepelerinin maksimum yüksekliği ve dalga çukurlarının maksimum derinliği olan **genlik**, dalga tepeleri arasındaki mesafe olan **dalga boyu** (λ) ve titreşim sıklığı olan **frekans** (υ) ile karakterize edilmektedir. Frekans **Hertz, Hz** (saniyedeki çevrim) cinsinden ölçülür. Dalga boyu ve frekans arasında $c = \lambda\upsilon$ (8.1) eşitliğindeki gibi bir ilişki vardır. Bu eşitlikteki c **ışık hızıdır**. Elektromanyetik ışımanın dalga karakteri hafif yivli bir yüzeye çarptıklarında dalgaların farklı dalga boylarında bileşenlere ayrılması anlamına gelir. Buna **kırınım** (diffraksiyon) denir (Şekil 8.4).

8-2 Atom Spektrumları—Gökkuşağı, prizma veya yağmur damlaları ile görünür ışığın bileşenlerinin tüm dalga boylarına ayrılmasıyla meydana gelir; bu sürekli spektruma bir örnektir (Şekil 8.7). Uyarılmış atom ve iyonlardan yayılan ışığın oluşturduğu spektruma, sadece belli frekanslar gözlendiğinden, **atom spektrumu** veya **çizgi spektrumu** adı verilir.

8-3 Kuantum Kuramı—Sıcak cisimlerden yayılan elektromanyetik ışımanın incelenmesi sonucu Planck

kuramı ortaya çıkmıştır. Bu kurama göre bir sistemin iki enerji düzeyi arasında belli bir fark vardır ve bu en küçük enerji birimine **kuantum** denir. Bir kuantumun enerjisi $E = h\nu$ eşitliği (8.3) ile verilir. Burada h **Planck sabitini** göstermektedir. **Fotoelektrik olayının**, yani ışığın belirli yüzeylere çarptığında elektronları fırlatma yeteneğinin Einstein tarafından yorumlanması elektromanyetik ışımanın yeniden yorumlanmasına yol açmıştır (Şekil 8-12). Buna göre ışık dalga özelliğinin yanında parçacık özelliğine de sahiptir. Işık parçacıkları **foton** olarak adlandırılır. Bir fotonun enerjisi $E_{foton} = h\nu$ şeklinde ifade edilir ve ışımanın frekansı ile ilişiklidir.

8.4 Bohr Atom Modeli—Atom (çizgi) spektrumunu açıklamaya yönelik ilk deneme Niels Bohr tarafından yapılmıştır. Niels Bohr'a göre hidrojen atomundaki bir elektron; orbitalde elektronun enerjisine karşılık gelen n **kuantum sayısıyla** gösterilen dairesel yörüngede bulunmaktadır. Elektronun en düşük **kuantum sayılı** hali ($n = 1$) **temel hal** olarak adlandırılır. Hidrojen atomunun **uyarılmış hali**; $n > 1$ olduğu durumlara karşılık gelir. Bohr kuramı **enerji düzeyi diyagramı** çizimi ile **yayılma** (emisyon) spektrumunun anlaşılabilmesini de sağlamaktadır (Şekil 8-14).

8-5 Yeni Bir Kuantum Mekaniğine Yol Açan İki Kavram—Louis de Broglie proton ve elektron gibi madde parçacıklarının zaman zaman **dalga-parçacık ikiliği** özellikleri gösterdiğini ileri sürmüştür (eşitlik 8.10). Dalga-parçacık ikiliğinin konum ve momentumunun belirsizliğinden dolayı Heisenberg; **Heisenberg belirsizlik ilkesi** olarak bilinen bir ifade ile atom altı parçacığın momentum ve konumunun hassas bir şekilde aynı anda bilinemeyeceğini ileri sürdü (eşitlik 8.11).

8-6 Dalga Mekaniği—Dalga-parçaçık ikiliği kavramının uygulanması, elektronu bir sistemin sınırları içerisinde **durağan dalgayı** temsil eden **dalga fonksiyonu** olarak algılamamızı gerektirir (Şekil 8-18, 8-19). Tek boyutlu kutudaki parçacığa bu kavramın uygulanması o parçacığın en düşük enerji seviyesindeki enerjisinin sıfır olmadığını gösterir ve diğer bir ifadeyle sistem **sıfır noktası enerjisine** sahiptir. Hidrojen atomu için **Schöridinger eşitliğinin** çözümü, **açısal dalga fonksiyonu** $\Upsilon(\theta, \phi)$ ve **radyal dalga fonksiyonunun** $R(r)$ çarpımı olarak **orbitaller** adı verilen dalga fonksiyonlarını ortaya çıkarır.

8-7 Kuantum Sayıları ve Elektron Orbitalleri—Schörindinger dalga denkleminden ortaya çıkan üç kuantum sayısı; *baş kuantum sayısı (n), orbital açısal momentum sayısı* (ℓ) *ve manyetik kuantum sayısı*(m_ℓ) dır. Aynı n değerindeki tüm orbitaller **baş kabukta (aynı enerji seviyesinde)** yer alırlar ve aynı n ve ℓ değerine sahip orbitaller aynı **alt kabukta (alt enerji seviyesinde)** yer alırlar. Farklı ℓ değerine sahip orbitaller (0, 1, 2, 3 vb. tam sayılar..) s, p, d, f olarak nitelenirler (Şekil 8-23). Hidrojen benzeri bir türün aynı alt kabuğunda bulunan orbitaller aynı enerjiye sahiptir ve bunlar **eşenerjili orbitaller** olarak adlandırılır.

8-8 Hidrojen Atomunun Orbitallerinin Yorumlanması ve Gösterimi—Hidrojen atomu için Schrödinger denkleminin çözümünün yorumlanması s, p ve d orbitallerindeki elektronların olasılık yoğunluğu biçiminin belirlenmesine rehberlik eder. Bir orbitaldeki düğüm sayısı (n - 1), n arttıkça artar. Düğümler dalga fonksiyonun işaret değiştirdiği noktalardır.

8-9 Elektron Spini: Dördüncü Bir Kuantum Sayısı—Stern ve Gerlach elektronların **elektron spini** (Şekil 8-32, 8-33) denilen bir niteliğe sahip olduklarını göstermişlerdir. Elektron spin kuantum sayısı (m_s) $+\frac{1}{2}$ veya $-\frac{1}{2}$ değerlerini alır.

8-10 Çok Elektronlu Atomlar—Çok elektronlu atomlarda, farklı ℓ değerlerine sahip orbitaller eşenerjili değildir. Bir ana kabuk içerisinde eşenerjililiğin kaybedilmesi farklı alt kabuklarda bulunan elektronların maruz kaldığı farklı **etkin çekirdek yükünden** (z_{et}) kaynaklanmaktadır.

8-11 Elektron Dağılımları—**Elektron dağılımı** bir atomun ana kabuklarda ve alt kabuklardaki çeşitli orbitallerde elektronların nasıl dağıldıklarını gösterir. Elektronlar, atomun enerjisinin en alt seviyede olacağı biçimde, orbitalleri en düşük enerjiliden en yüksek enerjiliye doğru doldururlar (Şekil 8-37). **Pauli dışlama ilkesi** bir orbitalde en fazla iki elektronun bulunabileceğini belirtir. **Hund kuralı** eşenerjili orbitaller mevcut olduğunda elektronların önce bu orbitalleri tek tek dolduracağını ifade eder. Elektron dağılımları ya ayrıntılı veya kısa biçimde ***spdf gösterimi*** ile ya da bir **orbital diyagramı** ile (sayfa 339) gösterilir. **Aufbau işlemi** periyodik çizelgedeki elementlerin elektron dizilişini tayin etmek için kullanılır. Aufbau işleminde en yüksek kuantum numaralı kabuğa eklenen elektronlara **değerlik elektronları** denir.

8-12 Elektron Dağılımları ve Periyodik Çizelge—Periyodik çizelgenin aynı grubunda bulunan elementler benzer elektron dizilişlerine sahiptir. Bir ve ikinci gruplar **s bloku** olarak adlandırılırlar ve bu gruptaki atomların değerlik kabuğu s orbitalleri tamamen veya kısmen doludur. 13 den 18 e kadar olan gruplar, değerlik kabuğu tamamen veya kısmen dolu p orbitallerine sahip **p bloku**nu oluşturmaktadır. **d bloku** 3 den 12 ye kadar olan gruplara karşılık gelir ve bunlarda $n - 1$ enerji seviyesi doldurulur, yani d orbitalleri tamamen ya da kısmen dolmuştur. Lantanitler ve aktinitler olarakta adlandırılan **f bloku** elementlerinde $n - 2$ kabuğu elektronlarla dolar. Yani bunların f orbitalleri kısmen ya da tamamen dolmuştur.

Pekiştirici Örnek

Mikrodalga fırının mutfaklarda kullanımı dünya çapında giderek yaygınlaşmaktadır. Bu fırınlar kimya laboratuvarlarında, özellikle analiz edilecek örneklerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Bir mikrodalga fırını 12,2 cm dalgaboyunda ışıma yapmaktadır.

Hidrojen atomunda 12,2 cm dalgaboyunda ışın üretebilecek bir elektron geçişi var mıdır? Geçişin olduğu aralıkta baş kuantum seviyelerini tahmin ediniz.

Analiz

Işınımın frekansını hesaplamak için mikrodalganın dalga boyunu kullanınız. Bu frekansa sahip fotonun enerjisini hesaplayınız. (8.6) eşitliğini kullanarak, bir fotonun yayılmasında olduğu gibi, hidrojen atomunun yayılma spektrumunun yerini tahmin ediniz.

Çözüm

1. Mikrodalga ışınının bir fotonuna ait enerjiyi hesaplayınız. Mikrodalgalar, elektromanyetik ışımanın bir şeklidir ve ışık hızı ile, yani $2{,}998\times 10^8$ m s^{-1} lik bir hızla hareket ederler. Dalgaboyu metre cinsine dönüştürüldükten sonra, $\upsilon = c/\lambda$ denklemini kullanarak frekansı hesaplayınız.

$$\nu = c/\lambda$$

$$\nu = \frac{2{,}998 \times 10^8\ \text{m s}^{-1}}{12{,}2\ \text{cm} \times 1\ \text{m}/100\ \text{cm}} = 2{,}46 \times 10^9\ \text{Hz}$$

2. Mikrodalga ışınında foton başına düşen enerjiyi hesaplayınız. Bu enerji Planck eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$E = h\nu = 6{,}626 \times 10^{-34}\ \text{J s} \times 2{,}46 \times 10^9\ \text{s}^{-1}$$
$$= 1{,}63 \times 10^{-24}\ \text{J}$$

3. Hidrojen atomunda foton başına enerjisi $1{,}63 \times 10^{-24}$J olan elektron geçişleri bulunup bulunmayacağını saptayınız. Son haldeki baş kuantum sayısını (n_s), n ve ilk haldeki kuantum sayısını (n_i), $n + 1$ alınız. Bu değerleri (8.9) eşitliğinde yerine koyunuz.

$$E_{\text{foton}} = \Delta E = 2{,}179 \times 10^{-18}\text{J}\left(\frac{1}{(n+1)^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$E_{\text{foton}} = \Delta E = 2{,}179 \times 10^{-18}\text{J}\left(\frac{n^2 - (n+1)^2}{n^2(n+1)^2}\right)$$

$$= -2{,}179 \times 10^{-18}\text{J}\left(\frac{2n+1}{n^2(n+1)^2}\right)$$

n yi çözmek için

4. Negatif işaret fotonun yayıldığını gösterir ve burada ihmal edilebilir. Fotonun enerji değeri yerine konur ve eşitlik düzenlenirse;

$$E_{\text{foton}} = 1{,}63 \times 10^{-24}\text{J} = 2{,}179 \times 10^{-18}\text{J}\left(\frac{2n+1}{n^2(n+1)^2}\right)$$

$$\frac{1{,}63 \times 10^{-24}\text{J}}{2{,}179 \times 10^{-18}\text{J}} = 7{,}48 \times 10^{-7} = \left(\frac{2n+1}{n^2(n+1)^2}\right)$$

5. Şekil 8-14 deki Bohr hidrojen atomunun *enerji* diyagramını göz önüne alınız. Alt seviyelerdeki enerji düzeyleri arasındaki farklar 10^{-19}-10^{-20} J boyutundadır. Bu değer, ikinci şıkta yeralan $1{,}63\times10^{-24}$ J değerindeki foton enerjisinden 10^4 –10^5 kat daha büyüktür. Fakat orbital baş kuantum sayıları arttıkça enerji azalır. Yani n sonsuza yaklaşırken enerji farkı sıfıra yaklaşır. Bu nedenle yüksek kuantum sayılarına sahip orbitaller arasında, mikrodalga ışımaya eşdeğer enerjiye sahip geçişler olabilir. Daha doğru bir bir yaklaştırma işlemi için n nin büyük bir değer olduğunu varsayarak ve bir rakamını eşitlikte ihmal ederek; eşitliğini yazabiliriz.

$$7{,}48 \times 10^{-7} = \left(\frac{2n+1}{n^2(n+1)^2}\right) \simeq \left(\frac{2n}{n^2n^2}\right) \simeq \left(\frac{2}{n^3}\right)$$

n yi çözmek için

$$n \simeq \left(\frac{2}{7{,}48 \times 10^{-7}}\right)^{1/3} \simeq 138{,}8$$

6. Asıl eşitlikte $n = 139$ değerini yerine yazarak sonucu gözden geçirebiliriz.

$$7{,}48 \times 10^{-7} = \frac{2n+1}{n^2(n+1)^2} = \frac{2(139)+1}{139^2(139+1)^2} = 7{,}37 \times 10^{-7}$$

Çok iyi bir uyuşma yoktur, o halde bir de $n = 138$ değerini deneyelim.

$$7{,}48 \times 10^{-7} = \frac{2n+1}{n^2(n+1)^2} = \frac{2(138)+1}{138^2(138+1)^2} = 7{,}53 \times 10^{-7}$$

Bu daha iyi uymaktadır. O halde baş kuantum sayısı $n = 138$ dir.

Değerlendirme

(8.6) eşitliğini kullanarak bir elektronun n =139 dan n = 138 e geçişindeki foton yayılmasının mikrodalga bölgesindeki bir foton kadar dalga boyu oluşturduğunu gösterdik. Bununla birlikte, n= 139 hali bir sınır hali midir, ya da bu hali oluşturmak için gereken enerji iyonlaşmayı sağlar mı şeklindeki sorgularda bulunabiliriz (Alıştırma 106 ya bakınız).

ALIŞTIRMA A: Hız kareleri ortalamasının karekökü bir hızda hareket eden helyum atomunun 25°C de de Broglie dalga boyunu hesaplayınız? Hangi sıcaklıkta helyum atomu 300 pm büyüklüğündeki tipik bir atom ile mukayese edilebilir bir de Brogile dalga boyuna sahip olacak kadar hızlı hareket edecektir?

ALIŞTIRMA B: İki foton sürecini (yani iki ardışık uyarılmayı) kullanarak, bir kimyacı hidrojen atomundaki bir elektronu art arda iki kez uyararak bir fotonu 5*d* seviyesine çıkarabiliyor. Bütün geçişler mümkün değildir; bunlar geçiş kuralları ile kontrol edilir. Geçiş kuralları, izin verilen geçişlerin $\Delta\ell = +1$ ya da -1 değerlerine sahip olması gerektiğini ifade eder ve Δn herhangi bir değer alabilir. Bu geçiş kurallarını kullanarak olaya iştirak eden olası ara seviyeleri (birden fazla ihtimal vardır) ve her bir olaya katılan iki fotonun frekansını hesaplayınız. 5*d* seviyesine uyarılmış bir hidrojen atomu numunesi bir yayılma spektrumu oluşturduğunda, izinli geçişleri belirtiniz. Gaz halindeki bir sodyum atomları numunesi ne zaman benzer bir şekilde 5*d* seviyesine uyarılır ve gözlenen yayılma spektrumları arasında ne tür farklılıklar olur?

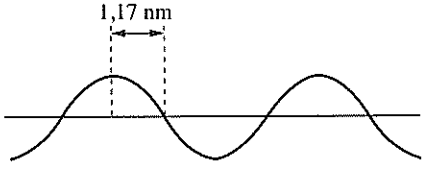
MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, çalışma alanındaki ilave kişisel çalışma sorularına bu bağlantı ile ulaşabilirsiniz

Alıştırmalar

Elektromanyetik Işıma

1. Aşağıda şekli verilen elektromanyetik dalganın dalgaboyunu hesaplayınız.



2. Alıştırma 1 de yer alan elektromanyetik dalganın; **(a)** frekansının kaç Hz, **(b)** enerjisinin kaç J/foton olduğunu hesaplayınız.
3. Magnezyum spekturumu 266,8 nm dalgaboyunda bir çizgiye sahiptir. Aşağıdaki durumlardan hangisi veya hangileri bu ışıma için geçerlidir, niçin?

   (a) Bu ışıma, 402 nm dalgaboyundaki ışımadan daha yüksek bir frekansa sahiptir.

   (b) Bu ışıma gözle görülebilir.

   (c) Bu ışımanın vakumdaki hızı, 652 nm dalgaboyundaki kırmızı ışığın hızından daha büyüktür.

   (d) Bu ışımanın dalgaboyu X-ışınlarının dalgaboyundan daha uzundur.

4. Seryum spektrumunda en şiddetli çizgi 418,7 nm'dedir.

   (a) Bu çizgiyi oluşturan ışımanın dalgaboyunu bulunuz.

   (b) Bu çizgi elektromanyetik spektrumun hangi kısmında bulunur?

   (c) Bu ışıma gözle görülebilir mi? Eğer görülürse ne renktedir? Eğer görülmezse bu çizgi görünür ışıktan daha yüksek enerjili midir, daha küçük enerjili midir?
5. *Ayrıntılı hesaplar yapmadan*, aşağıdaki dalgaboylarındaki ışıklardan hangisinin en yüksek frekansa sahip olduğunu belirleyiniz: **(a)** $6{,}7 \times 10^{-4}$cm; **(b)** 1,23 nm; **(c)** 80 nm; **(d)** 6,72 μm.
6. *Ayrıntılı hesaplar yapmadan*, aşağıdaki elektromanyetik ışıma kaynaklarını artan frekansa göre sıralayınız: **(a)** kırmızı trafik ışığı, **(b)** 91,9 MHz radyo vericisi, **(c)** $3{,}0 \times 10^{14}$s^{-1} frekansa sahip ışık, **(d)** 49 nm dalgaboyuna sahip ışık.
7. 93 milyon mil uzaklıktaki güneşten ışık, dünyaya ne kadar zamanda erişir?
8. Astronomide uzaklıklar *ışık yılı* ile ölçülür. Işık yılı ışığın bir yılda aldığı yol olduğuna göre, bir ışık yılı kaç kilometredir?

Atom Spektrumları

9. Aşağıdaki değerleri Balmer denklemi (8.2) ile hesaplayınız:

   (a) $n = 5$ e karşılık gelen ışımanın frekansını s^{-1} cinsinden

   (b) $n = 7$ olan Balmer serisindeki çizgilerin dalgaboylarını nm cinsinden

   (c) Balmer serisinde 380 nm'deki çizgiye karşılık gelen n değerini.
10. Hidrojenin kızılötesi spektrumundaki çizgileri önceden belirleyebilmek için Balmer denkleminde (8.2) nasıl bir değişiklik yapılması gerekir? [*İpucu*: (8.2) ve (8.6) denklemlerini karşılaştırınız.]
11. Aşağıdaki değerleri Planck denklemi (8.3) ile hesaplayınız:

    (a) frekansı $7{,}39 \times 10^{15}$ s^{-1} olan ışımanın enerjisini J/foton cinsinden

    (b) frekansı $1{,}97 \times 10^{14}$ s^{-1} olan ışımanın enerjisini kJ/mol cinsinden
12. Planck denklemini (8.3) kullanarak aşağıdakileri hesaplayınız:

    (a) enerjisi $8{,}62 \times 10^{-21}$J/foton olan ışımanın frekansını Hz cinsinden

    (b) enerjisi 360 kJ/mol olan ışımanın dalgaboyunu nm cinsinden.

13. Bohr hidrojen atomunda bir elektronun n = 6 dan $n = 3$ e geçişinde ΔE ne olur? Oluşan spektrum çizgisinin frekansı nedir?
14. Bohr hidrojen atomunda bir elektronun $n = 5$ den $n = 3$ e geçişi için ΔE ne olur? Oluşan spektrum çizgisinin frekansı nedir?
15. Balmer serisinde 389 nm deki çizgiye karşılık gelen, (8.2) eşitliğindeki n değeri nedir?
16. Hidrojen spektrumunu Lyman serisi;

$$\nu = 3{,}2881 \times 10^{15}\,s^{-1}\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)(n = 2, 3, \ldots)$$

denklemi ile gösterilebilir.

(a) Bu seride en büyük ve en küçük dalgaboylarına sahip çizgilerin dalgaboylarını nm cinsinden hesaplayınız.

(b) 95,0 nm deki spektrum çizgisine karşılık gelen n değerini bulunuz.

(c) 108,5 nm de spektrum çizgisi var mıdır? Açıklayınız.

17. Hidrojen spektrumunun Balmer serisindeki ilk dört çizgisinin dalgaboylarını, *en uzun* dalgaboylu bileşenden başlayarak, nanometre cinsinden hesaplayınız.
18. Hidrojen spektrumunun 1880 nm de gözlenen çizgisi Balmer serisinde midir? Açıklayınız.

Kuantum Kuramı

19. 574 nm dalgaboyuna sahip bir ışımanın **(a)** bir fotonunun; **(b)** bir mol fotonunun enerjisi kaç Joule dür?
20. Enerji içeriği 1799 kJ/mol olan bir ışığın dalgaboyu kaç nm dir? Bu ışık elektromanyetik spektrumun hangi bölgesinde bulunur?
21. *Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın*, aşağıdaki elektromanyetik ışımalardan foton başına enerjisi *en büyük* ve *en küçük* olanları belirleyiniz: **(a)** 662 nm; **(b)** $2{,}1 \times 10^{-5}$cm; **(c)** 3,58 μm; **(d)** $4{,}1 \times 10^{-6}$ m.
22. *Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın*, aşağıdaki elektromanyetik ışıma türlerini bir mol foton başına artan enerjilerine göre sıralayınız **(a)** $\upsilon = 3{,}0 \times 10^{15}s^{-1}$ olan ışıma **(b)** kızıl ötesi ısıtma lambası; **(c)** $\lambda = 7000$ Å olan ışıma; **(d)** dişcilikte kullanılan X-ışınları.
23. Foton başına enerjisi, 988 nm dalgaboyundaki ışımanın enerjisinin 100 katı olan ışıma, elektromanyetik spektrumun hangi bölgesinde bulunur?
24. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar caddelerin aydınlatılmasında kullanılırlar. Sodyum spektrumunda en parlak iki çizgi 589,00 ve 589,59 nm de bulunur. Bu iki çizgiye karşılık gelen ışımaların foton başına enerjileri arasındaki farkı bulunuz.

Fotoelektrik Olayı

25. Fotoelektrik olayı meydana getirebilecek en düşük frekansa sahip ışığın frekansına *eşik frekans* denir.

    (a) İndiyumun eşik frekans $9{,}96 \times 10^{14}s^{-1}$ olduğuna göre, bu ışımadaki bir fotonun enerjisi kaç joule dür?

    (b) İndiyum, morötesi ışık altında fotoelektrik olayı gösterir mi? Kızılötesi ışık altında fotoelektrik olayı gösterir mi? Açıklayınız.

26. Potasyum metalinin fotoelektrik olayı için gerekli olan minumum enerji $3{,}69 \times 10^{-19}$ J dür. Potasyum yüzeyine görünür bölge ışığının yansıması fotoelektronlar üretir mi? Eğer 400 nm'lik bir ışıma potasyum yüzeyine yansıtılırsa, açığa çıkan elektronun hızı ne olur?

Bor Atomu

27. Bohr atom tanımından yararlanarak, **(a)** hidrojen atomu için altıncı Bohr yörüngesinin yarıçapını;**(b)** bu yörüngede bulunan elektronun joule cinsinden enerjisini bulunuz.
28. Birinci Bohr yörüngesinde bulunan elektron uyarılarak üçüncü Bohr yörüngesine geçtiğinde; **(a)** çekirdeğe olan uzaklığındaki; **(b)** enerjisindeki artışı hesaplayınız.
29. Hidrojen atomunda $n = 7$ düzeyinde bulunan bir elektron $n = 4$ düzeyine indiği zaman yayınlanan ışığın; **(a)** frekansı kaç s^{-1}; **(b)** dalgaboyu kaç nm olur? **(c)** Bu ışık elektromanyetik spektrumun hangi bölgesinde bulunur?
30. *Ayrıntılı hesaplama yapmaksızın*, aşağıdaki elektron geçişlerinden hangisinde hidrojen atomu tarafından en yüksek enerji *soğurulması* gerektirdiğini belirleyiniz. **(a)** $n = 1$ den $n = 2$ ye; **(b)** $n = 2$ den $n = 4$ e; **(c)** $n = 3$ den $n = 9$ a; **(d)** $n = 10$ dan $n = 1$ e.
31. Bohr hidrojen atomu için;

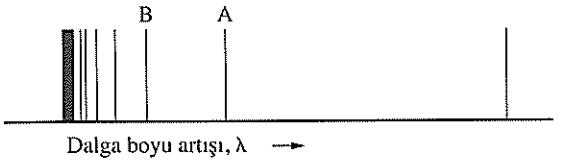
    (a) $n = 4$ yörüngesinin yarıçapını;

    (b) 4,00 Å yarıçapında bir yörünge bulunup bulunmadığını,

    (c) $n = 8$ e karşılık olan enerji düzeyini;

    (d) $-2{,}5 \times 10^{-17}$J değerinde bir enerji düzeyi bulunup bulunmadığını belirleyiniz.
32. *Ayrıntılı hesap yapmaksızın*, hidrojen atomunda aşağıdaki elektron geçişlerinden hangisinde en uzun dalgaboylu ışık yayınlandığını bulunuz; **(a)** $n = 4$ ten $n = 3$ e; **(b)** $n = 1$ den $n = 2$ ye; **(c)** $n = 1$ den $n = 6$ ya; **(d)** $n = 3$ den $n = 2$ ye.
33. Hidrojen atomunda $n = 7$ den başlayan hangi elektron geçişi 410 nm dalgaboyunda kızılötesi ışık üretir?
34. Hidrojen atomunda $n = 3$ ile biten hangi elektron geçişi 1090 nm dalgaboyunda ışık üretir?

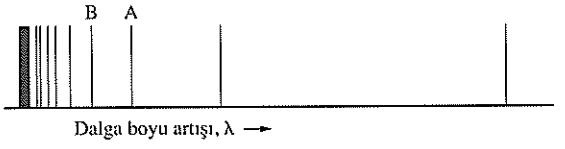
35. Tek elektron içeren (hidrojen-benzeri) türlerin gaz fazındaki yayılma spektrumu temel halden yüksek enerjili hale geçerken, çakışmaksızın, aşağıdaki spektrum çizgilerini oluşturmaktadır. A çizgisi 103 nm lik dalga boyuna sahiptir



(a) A ve B ile işaretli çizgilere karşılık gelen alt ve üst baş kuantum sayıları nelerdir?

(b) Bu spektrumu veren tek elektronlu türleri belirtiniz.

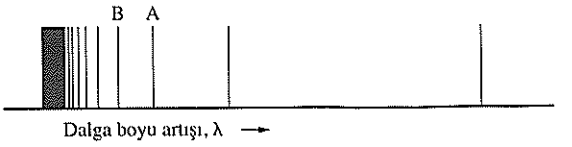
36. Tek elektron içeren (hidrojen-benzeri) türlerin gaz fazındaki yayılma spektrumu temel halden yüksek enerjili hale geçerken, çakışmaksızın, aşağıdaki spektrum çizgilerini oluşturmaktadır. A çizgisi 434 nm lik dalga boyuna sahiptir



(a) A ve B ile işaretli çizgilere karşılık gelen alt ve üst baş kuantum sayıları nelerdir?

(b) Bu spektrumu veren tek elektronlu türleri belirtiniz.

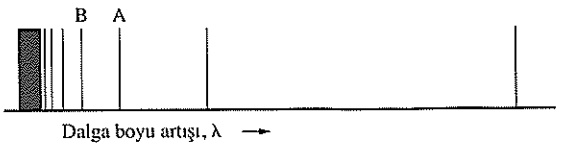
37. Tek elektron içeren (hidrojen-benzeri) türlerin gaz fazındaki yayılma spektrumu temel halden yüksek enerjili hale geçerken, çakışmaksızın, aşağıdaki spektrum çizgilerini oluşturmaktadır. A çizgisi 27,1 nm lik dalga boyuna sahiptir



(a) A ve B ile işaretli çizgilere karşılık gelen alt ve üst baş kuantum sayıları nelerdir?

(b) Bu spektrumu veren tek elektronlu türleri belirtiniz.

38. Tek elektron içeren (hidrojen-benzeri) türlerin gaz fazındaki yayılma spektrumu temel halden yüksek enerjili hale geçerken, çakışmaksızın, aşağıdaki spektrum çizgilerini oluşturmaktadır. A çizgisi 10,8 nm lik dalga boyuna sahiptir



(a) A ve B ile işaretli çizgilere karşılık gelen alt ve üst baş kuantum sayıları nelerdir?

(b) Bu spektrumu veren tek elektronlu türleri belirtiniz.

Dalga-tanecik İkiliği

39. Aynı dalgaboyunda (örneğin 1 nm) maddesel dalga oluşturabilmek için, proton ve elektronlardan hangisi daha büyük hıza sahip olmalıdır? Kendi yaklaşımınızla açıklayınız.

40. Bir elektronun 1 μm lik de Broglie dalgaboyuna sahip olabilmesi için hızı kaç m/s olmalıdır?

41. 145 gramlık bir top 168 km/saat hızla hareket ettiğinde, buna eşlik eden dalganın de Broglie dalgaboyunu nm cinsinden hesaplayınız. Bu dalgaboyunu çekirdek veya atom boyutları ile karşılaştırınız

42. 1000 kg ağırlığında bir otomobil 25 m/s hızla hareket ediyorsa, buna eşlik eden dalganın dalgaboyu kaç nm dir? Burada otomobil bir maddesel dalga olarak kabul edilecektir. Bu dalgaboyunun deneysel olarak ölçülebilirliğini yorumlayınız.

Heisenberg Belirsizlik ilkesi

43. Hidrojen atomunun Bohr modelinin Heisenberg belirsizlik ilkesi ile çelişen yönlerini açıklayınız.

44. Einstein, kuantum kuramının ortaya çıkmasını hazırlayan kişilerden olmasına karşın, hiçbir zaman Heisenberg belirsizlik ilkesini kabul edemedi ve "Tanrı evrenle zar atmaz" dedi. Eistein'n bu deyişle ne demek istediğini yorumlayınız. Einstein'n bu söylemine yanıt olarak Niels Bohr'un "Albert, Tanrının ne yaptığını anlatmaktan vazgeç" dediği söylenir. Sizce Bohr bu deyişle ne kastetmektedir?

45. Bir proton ışık hızının onda birine hızlandırılır ve bu hız %1 duyarlılıkla ölçülebilir. Bu protonun konumundaki belirsizlik nedir?

46. Otomobil gibi büyük cisimlere uygulandığında, belirsizlik ilkesinin bir anlamı olmadığını gösteriniz. *m* değerinin tam olarak bilindiğini varsayıp, hız ya da konuma mantıklı bir değer verip, diğerinin değerini öngörünüz.

47. Hidrojen atomunun birinci Bohr yörünge yarıçapında dalgaboyuna sahip elektronun hızı ne olmalıdır?

48. Eşlik eden dalga boyu, Lyman serisindeki *en uzun* dalgaboylu çizgininkine eşit olan elektronların hızı ne olmalıdır? [*İpucu:* Şekil 8-14 e bakınız.]

Dalga Mekaniği

49. 42 cm uzunluğunda bir ipteki durağan dalgada, ipin uçlarındaki dahil *toplam* altı düğüm noktası bulunmaktadır. Bu durağan dalganın dalgaboyu kaç cm dir?

50. Uçlarındakiler dahil dört düğüm noktası bulunan bir ipteki durağan dalganın dalgaboyu $\lambda = 17$ cm olduğuna göre ipin boyu ne kadardır?

51. 50 pm boyutundaki tek boyutlu kutudaki elektronu temel halden $n = 4$ haline uyarmak için gerekli olan elektromanyetik ışımanın dalga boyunu hesaplayınız.

52. Tek boyutlu kutudaki elektronu $n = 4$ halinden $n = 2$ haline uyarmak için 618 nm lik bir dalgaboyu gerekiyor. Kutunun boyutunu bulunuz.

53. 50 nm boyutundaki bir kutudaki elektron temel halden yüksek enerjili bir hale geçerken $8{,}60 \times 10^{-5}$ m dalga boyunda bir foton soğuruyor. Son enerji düzeyini belirleyiniz.

54. 50 pm boyutundaki tek boyutlu bir kutudaki bir protonu temel halden $n = 4$ haline uyarmak için gerekli olan elektromanyetik ışımanın dalgaboyunu hesaplayınız.

55. Bor un atom orbiatlleri ile dalga mekaniksel atom orbitalleri arasındaki bazı farklılıkları belirtiniz. Bunlar arasında benzerlikler var mıdır?

56. Hidrojen atomunun 1s orbitalinin küçük bir bölgesinde elektronun en yüksek bulunma olasılığının olduğu yer çekirdektir. Oysa elektronun çekirdekten uzaklığı çok büyük bir olasılıkla 53 pm dir. Bu iki açıklamayı nasıl bağdaştırırsınız?

Kuantum sayıları ve Elektron Orbitalleri

57. Doğru yanıtı seçiniz ve nedenini açıklayınız. $n = 3$ ve $m_\ell = 0$ olan bir elektron için **(a)** $m_s = +\frac{1}{2}$ olmalıdır **(b)** $\ell = 1$ olmalıdır; **(c)** $\ell = 0$, 1 veya 2 olabilir; **(d)** $\ell = 2$ olmalıdır.

58. Soru işareti ile gösterilmiş kuantum sayıları için uygun birer değer yazınız.
   (a) $n = 3$, $\ell = ?$, $m_\ell = 2$, $m_s = +\frac{1}{2}$
   (b) $n = ?$, $\ell = 2$, $m_\ell = 1$, $m_s = -\frac{1}{2}$
   (c) $n = 4$, $\ell = 2$, $m_\ell = 0$, $m_s = ?$
   (d) $n = ?$, $\ell = 0$, $m_\ell = ?$, $m_s = ?$

59. Aşağıdaki kuantum sayılarından oluşan diziler hangi orbitali (yani, 3s, 4p,...) gösterir?
   (a) $n = 5$, $\ell = 1$, $m_\ell = 0$
   (b) $n = 4$, $\ell = 2$, $m_\ell = -2$
   (c) $n = 2$, $\ell = 0$, $m_\ell = 0$

60. $n = 4$ ve $m_\ell = -2$ değerine sahip bir elektron için, aşağıdaki durumlardan hangisi (veya hangileri) doğrudur? Açıklayınız.
   (a) Elektron dördüncü baş kabuktadır.
   (b) Elektron *d* orbitalinde bulunabilir.
   (c) Elektron *p* orbitalinde bulunabilir.
   (d) Elektron için $m_s = +\frac{1}{2}$ olmalıdır.

61. Bir atomun kabuk, alt kabuk ve orbitallerindeki elektronlar dikkate alındığında, aşağıdaki sistemlerde kaçar tane elektron bulunabilir?
   (a) $n = 4$, $\ell = 2$, $m_l = 1$ ve $m_s = +\frac{1}{2}$?
   (b) $n = 4$, $\ell = 2$ ve $m_\ell = 1$?
   (c) $n = 4$ ve $\ell = 2$?
   (d) $n = 4$?
   (e) $n = 4$, $\ell = 2$ ve $m_s = +\frac{1}{2}$?

62. Alt kabuk ve orbital kavramı ile ilgili olarak,
   (a) $n = 3$ düzeyinde kaç alt kabuk bulunur?
   (b) $n = 3$ düzeyinde alt kabukların adları nedir?
   (c) Kaç orbital $n = 4$ ve $\ell = 3$ değerlerine sahiptir?
   (d) Kaç orbital $n = 3$, $\ell = 2$ ve $m_\ell = -2$ değerine sahiptir?
   (e) $n = 4$ düzeyindeki toplam orbital sayısı kaçtır?

Orbital Biçimleri ve Radyal Olasılıklar

63. Hidrojen atomunun 2s orbitalinin dalga fonksiyonunda, düğüm noktasının ortaya çıktığı r in sonlu değerini a_0 cinsinden hesaplayınız

64. Li^{2+} iyonunun 2s orbitalinin dalga fonksiyonunda, düğüm noktasının ortaya çıktığı r in sonlu değerini a_0 cinsinden hesaplayınız.

65. Bir $2p_y$ elektronunun, xz düzleminde bulunma olasılığının sıfır olduğunu gösteriniz.

66. Bir $3d_{xz}$ elektronunun, xy düzleminde bulunma olasılığının sıfır olduğunu gösteriniz.

67. xy düzleminde p_y orbitali için, iki boyutlu olarak $Y(\theta,-\phi)$ görünümü çiziniz.

68. xy düzleminde p_y orbitali için, iki boyutlu olarak $Y^2(\theta,-\phi)$ görünümü çiziniz.

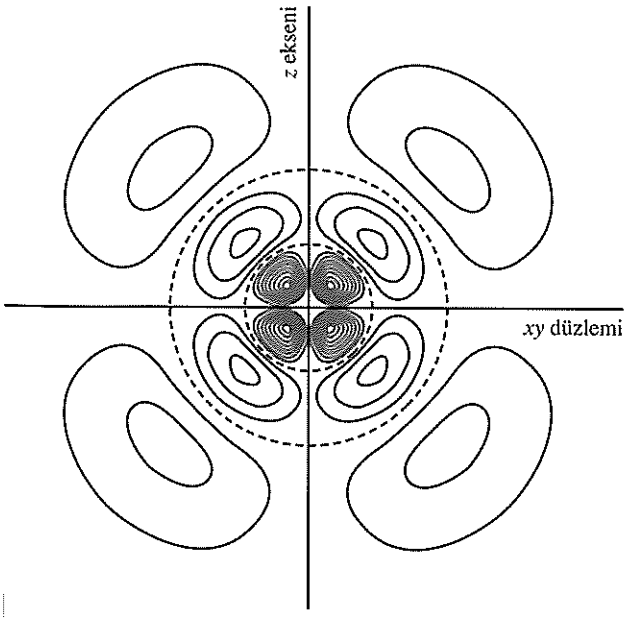
69. Grafik yöntemini kullanarak, hidrojen atomunda elektronun bulunma olasılığının en yüksek olduğu yarıçapın a_0 (53 pm) olduğunu gösteriniz

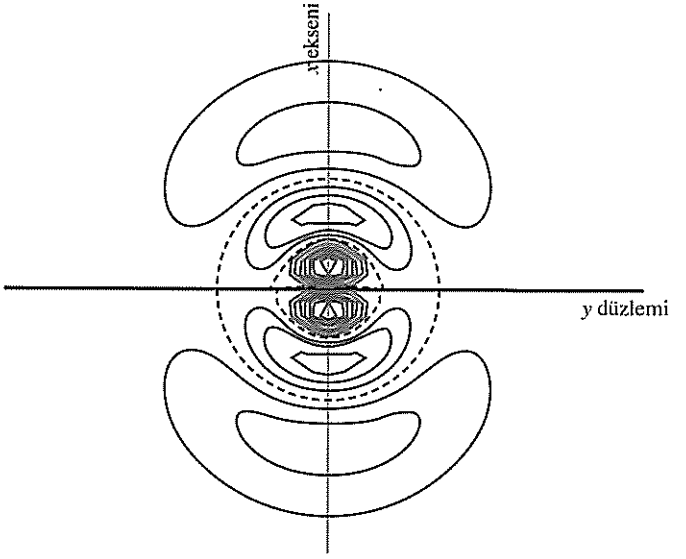
70. Li^{2+} iyonunda, elektronun bulunma olasılığının en yüksek olduğu yarıçapın $\frac{a_0}{3}$ (18 pm) olduğunu göstermek için, grafik yöntemini veya diğer yolları kullanınız.

71. (a) Bir radyal ve bir açısal düğüme sahip orbitali; (b) radyal düğümü olmayan iki açısal düğüme sahip orbitali (c) iki radyal düğüm ve üç açısal düğüme sahip orbitali belirtiniz.

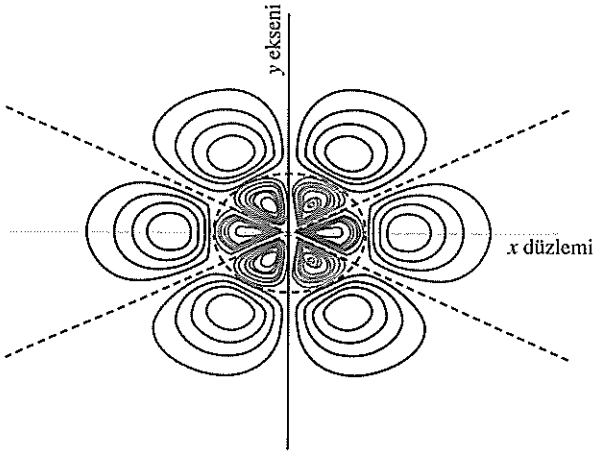
72. (a) İki radyal ve bir açısal düğüme sahip orbitali; (b) beş radyal ve sıfır açısal düğüme sahip orbitali (c) bir radyal düğüm ve dört açısal düğüme sahip orbitali belirtiniz.

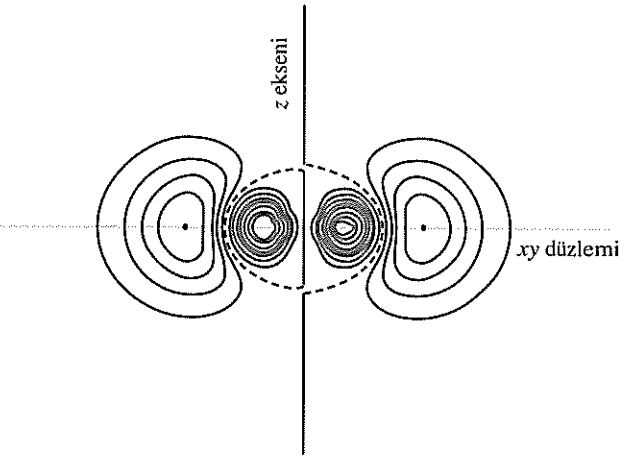
73. Hidrojenin atom orbitalinin xy ve xz düzlemlerindeki bir sınır haritası sayfa 355 in üst bölümünde gösterilmiştir. Bu orbitali tanımlayınız?





74. Hidrojenin atom orbitalinin *xy* ve *xz* düzlemlerindeki bir sınır haritası aşağıda gösterilmiştir. Orbital türlerini (*s, p, d, f, g*....) belirleyiniz?



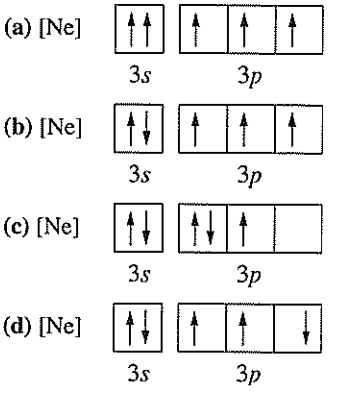


Elektron Dağılımı

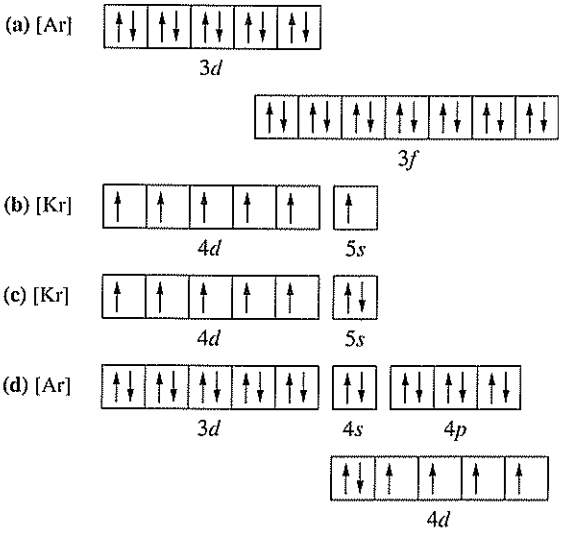
75. Periyodik çizelgeye ve elektron dağılımındaki kurallara dayanarak; **(a)** N atomundaki 2*p* elektronlarının; **(b)** Rb atomundaki 4*s* elektronlarının; **(c)** As atomundaki 4*d* elektronlarının; **(d)** Au atomundaki 4*f* elektronlarının; **(e)** Pb atomundaki eşleşmemiş elektronların; **(f)** Periyodik cetvelin 14. grubundaki elementlerin; **(g)** Periyodik çizelgenin altıncı periyodunda bulunan elementlerin sayısını bulunuz.

76. Elektron dağılımı ile periyodik çizelge arasındaki ilişkiye dayanarak; **(a)** Sb atomunun dış kabuğundaki elektronların; **(b)** Pt atomunun dördüncü baş kabuğundaki elektronların; **(c)** atomların dış kabuğunda 6 elektron bulunan elementlerin; **(d)** Te atomundaki eşleşmemiş elektronların; **(e)** Altıncı periyottaki geçiş elementlerinin sayısını bulunuz.

77. Aşağıdakilerden hangisi fosforun temel hali için doğru yazılmış orbital diyagramıdır? Yanlış yazılmış olanlardaki hatayı bulunuz.



78. Aşağıdaki orbital diyagramlarından hangisi molibdenin temel halini belirtir? Diğerlerindeki hataları bulunuz.



79. Elektron dağılımı ile ilgili temel kurallar yardımı ile aşağıdaki sayıları belirtiniz: **(a)** P atomundaki eşleşmemiş elektron sayısını; **(b)** Br atomunun $3d$ orbitallerindeki elektron sayısını; **(c)** Ge atomunun $4p$ orbitallerindeki elektron sayısını; **(d)** Ba atomunun $6s$ orbitalindeki elektron sayısını; **(e)** Au atomundaki $4f$ elektronlarının sayısını.

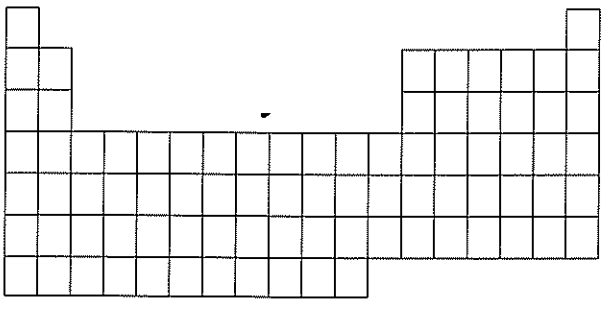
80. Aşağıdaki orbitallerde, elektron dağılımını orbital diyagramı yöntemi ile gösteriniz. **(a)** Br atomunun $4p$ alt kabuğunda; **(b)** $4s$ orbitalindeki iki elektronun verilmesi ile oluşmuş Co^{2+} iyonunun $3d$ alt kabuğunda; **(c)** Pb atomunun $5d$ alt kabuğunda.

81. Yakın zamanda keşfedilen element 114 e en çok benzemesi gereken element Pb dir.

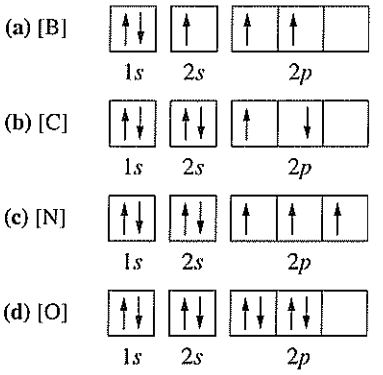
(a) Pb nin elektron dağılımını yazınız.

(b) Element 114 için akla yakın bir elektron dağılımı yazınız.

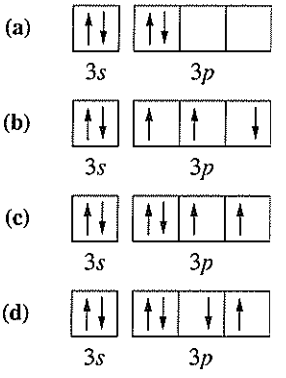
82. Bu bölümde yer alan çizelge ve listelere bakmaksızın, aşağıda verilenleri, içi boş bırakılmış periyodik çizelgede uygun yerlere yerleştiriniz. **(a)** Beşinci periyodun asal gazını; **(b)** Üç tane eşleşmemiş p elektronuna sahip altıncı periyot elementini; **(c)** Bir tek $4s$ elektronuna sahip d bloku elementini; **(d)** p bloku elementlerinden bir metali.



83. Aşağıdaki elektron dağılımlardan hangileri temel hali ve hangileri uyarılmış hali temsil eder?



84. Hangi nötür atom aşağıdaki değerlik kabuğu elektron dağılımına sahiptir? Bu dizilişler temel hal mi yoksa uyarılmış hali mi temsil eder?



85. Aşağıdaki elementlerin temel haldeki elektron dağılımları nasıldır? **(a)** civa; **(b)** kalsiyum **(c)** polonyum; **(d)** kalay; **(e)** tantalyum **(f)** iyot.

86. Aşağıdaki elementlerin temel haldeki elektron dağılımları nasıldır? **(a)** tellur; **(b)** sezyum **(c)** selenyum; **(d)** platin; **(e)** osmiyum; **(f)** krom.

87. Aşağıda gösterilen elektron dağılımları temel haldeki bazı elementleri temsil etmektedir. Her bir elementin adını yazınız

(a) $[Rn]7s^26d^2$; **(b)** $[He]2s^26p^2$; **(c)** $[Ar]2d^34s^2$; **(d)** $[Kr]4d^{10}4s^25p^4$; **(e)** $[Xe]4f^26s^26p^1$.

88. Aşağıda gösterilen elektron dağılımları temel haldeki bazı elementleri temsil etmektedir. Her bir elementin adını yazınız

(a) $[Ar]3d^{10}4s^24p^3$; **(b)** $[Ne]3s^23p^4$; **(c)** $[Ar]3d^14s^2$; **(d)** $[Kr]4d^64s^2$; **(e)** $[Xe]4f^{12}6s^2$

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

89. Balmer denklemini (8.6) eşitliğinden üretiniz.

90. Elektromanyetik ışıma, vakumdan ya da boşluktan geçebilir. Isı ve ses de benzer ortamlardan geçebilir mi? Açıklayınız.

91. *İş fonksiyonu*, bir fotoelektrik malzemeden bir elektronun serbest hale geçmesine yetecek miktarda enerjidir. Buna karşılık gelen foton frekansı, eşik frekansıdır. Yüzeye çarpan ışığın enerjisi arttıkça, yüzeyden uzaklaşan elektronların kinetik enerjisi artar. Cıva için iş fonksiyonu 435 kJ/mol fotona eşittir.

    (a) Görünür ışık cıvada fotoelektrik olayını gerçekleştirebilir mi? Açıklayınız.

    (b) Cıva yüzeyine 215 nm lik bir ışık düşürüldüğünde fırlayan elektronun kinetik enerjisi kaç J'dur?

    (c) (b) de fırlayan elektronların hızı m/s cinsinden nedir?

92. Kızılötesi lambalar kafeteryalarda yiyecekleri sıcak tutmak için kullanılır. Tükettiği elektrik enerjisinin %14 ünü kızılötesi ışığa dönüştürebilen 95 wattlık bir kızılötesi lamba saniyede kaç foton üretir? Kızılötesi ışığın dalgaboyunu 1525 nm kabul ediniz.

93. 75 watlık bir ışık kaynağı 5,0 saniyede $9{,}91 \times 10^{20}$ tane monokromatik (tek dalgaboylu) ışıma fotonu yayınlamaktadır. Yayınlanan ışık ne renktir?

94. Günlük yaşamda "kuantum atlaması" deyimi, yavaş ve kesiksiz olarak artan olasılıkla kıyaslandığında, ani olarak büyük artış gösteren olasılığı tanımlamakta kullanılır: Anlam olarak, "denizdeki sakinliğin aniden değişmesine" benzer. Kuantum atlaması, atom veya molekül boyutundaki olaylara uygulandığında, aynı anlama gelir mi? Açıklayınız.

95. Hidrojen spekturumunun Pfund serisinin *en uzun* dalgaboyu bileşeni 7400 nm deki çizgidir. Bu seriyi meydana getirecek elektron geçişlerini tanımlayınız. Yani bu seriye uyacak bir Bohr kuantum sayısı veriniz.

96. Dalgaboyu 1876 nm olan bir ışığın meydana gelmesi için, Bohr hidrojen atomunun hangi yörüngeleri arasında bir elektron geçişi olmalıdır?

97. He^+ iyonunda $n = 5$ ten $n = 2$ ye bir elektron geçişinden kaynaklanan yayılma spektrumundaki çizgilerin dalgaboyunu, bu bölümde verilen uygun bağıntılar yardımı ile belirleyiniz.

98. Hidrojen atomunun $n = 5$ ten $n = 1$'e doğrudan veya basamaklı elektron geçişinden doğan yayılma spektrumundaki tüm olası çizgileri gösteren enerji düzeyi diyagramını çiziniz.

99. Dış kabuğunda bulunan bir elektronu çok yüksek kuantum *(n)* düzeyine uyarılmış atoma "yüksek Rydberg" atomu denir. Bir anlamda tüm bu atomlar, yüksek sayılı yörüngesinde elektron içeren, bir Bohr hidrojen atomuna benzerler. Neden bu benzetmenin yapıldığını açıklayınız.

100. Elektron dağılımının oluşumunda tüm diğer kuralların yerine getirildiği kabul edilirse, **(a)** elektron spini için *üç* olasılık bulunduğunda, **(b)** ℓ kuantum sayısı n kuantum sayısının değerine eşit olduğunda, sezyumun elektron dağılımı nasıl olacaktır?

101. Ozon, O_3, morötesi ışığı soğurarak O_2 molekülü ve O atomuna ayrışır: $O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$. 22° C sıcaklık ve 748 mm Hg basıncında, 1,00 litre hava 0,25 ppm ozon içerir. Bir litre hava içerisindeki tüm ozonun, yukarıdaki tepkimeye göre ayrışması için kaç joule enerji soğurulmalıdır? Soğurulan her bir fotonun bir O_3 molekülünü ayrıştırdığı ve ışığın 254 nm dalgaboyuna sahip olduğu kabul edilecektir.

102. 1970 lerde *Voyager 1* in radyo sinyalleri, 8,4 GHz frekansta yayınlanırdı. Bu sinyaller yeryüzündeki 4×10^{-21} watt değerine kadar sinyalleri algılama kapasitesine sahip anten tarafından alınırdı. Bu algılama sınırının karşılığı kaç foton/saniyedir?

103. Belirli metal bileşikleri alevde belirli renkler verirler. Örneğin, sodyum bileşikleri sarı, lityum kırmızı, baryum yeşil. Bu elementlerin nitel analizinde alev denemeleri kullanılır. **(a)** 800 °C sıcaklıktaki bir alevde, ortalama kinetik enerjiye sahip, gaz halindeki atomların çarpışmasından doğan enerji, görünür ışık yayınlanmasına yeter mi? **(b)** Eğer yeterli değilse uyarma için gerekli enerjiyi hesaplayınız.

104. Bohr hidrojen atomundaki bir elektronun momentumu mur dir. Burada m elektronun kütlesi, u hızı ve r Bohr yörüngesinin yarıçapıdır. Açısal momentum yalnızca $nh/2\pi$ değerlerini alabilir. Burada n bir tamsayıdır (Bohr yörüngesine ait sayı). Çeşitli Bohr yörüngelerinin çevrelerinin, bir maddesel dalga olarak işlem gören elektronun de Broglie dalgaboyunun tam katları olduğunu gösteriniz.

105. Klor molekülü yeterince yüksek bir enerjili foton soğurarak atomlarına ayrılabilir. Atomlar birbirinden ayrıldığında enerjinin fazlası kinetik enerjiye dönüşür. Eğer hareketsiz bir klor molekülü 300 nm dalga boyunda bir foton soğurursa birbirinden ayrılan bu iki atomun hızı ne olur? Fazla enerjinin iki atom arasında eşit olarak paylaşıldığını kabul ediniz. Cl_2 nin bağ enerjisi 242,6 kJ mol^{-1} dir.

106. Pekiştirici örneğe bakınız. $n = 138$ in sınır hal olup olmadığını belirleyiniz. Eğer değilse, ne tür bir evredir? Yörüngenin yarı çapı nedir ve elektron çekirdek etrafında saniyede kaç devir yapmaktadır?

107. Çizelge 8.1 deki bağıntıları kullanarak, 3*s* orbitalindeki düğüm noktasına ait, sonlu r değerlerini, a_0 cinsinden bulunuz.

108. 2*s* orbitalinin bulunma olasılığının en yüksek olduğu yarıçapı grafik yöntemini veya diğer yolları kullanarak saptayınız.

109. Çizelge 8.1 de verilen bağıntıları kullanarak, xy düzleminde, $3p_x$ orbitalinin %95 olasılık yüzeyini gösteriniz.

110. Yarıçapı r ve kalınlığı dr olan küresel bir kabuğun hacminin $4\pi r^2 dr$ olduğunu gösteriniz. [*İpucu*: Bu işlem matematiksel hesap gerektirir.]

111. Temel haldeki hidrojen atomununda bir elektronun, **(a)** a_0 veya **(b)** $2a_0$ yarıçaplı bir kürenin herhangi bir yerinde bulunma olaslığı kaçtır? [*İpucu*: Bu işlem matematiksel hesap gerektirir.]

112. Uyarılmış haldeki bir atom uyarılmamış bir atom ile çarpışınca, uyarılma enerjisini diğerine aktara-

bilir. İlk türün uyarılma enerjisi, uyarılmamış atomun uyarılma enerjisi ile ne kadar çok uyuşuyorsa en etkin enerji aktarımı o zaman gerçekleşir. $2s^1$

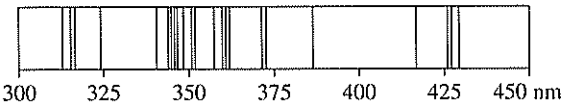
haline uyarılmış hidrojen atomları, He^+ da her hangi bir geçişe neden olur mu?

Özellikli sorular

113. Yayılma spektrumunun bir tür " atomlara ait parmak izleri" olduğu daha önce belirtilmişti. Çeşitli çelikler, bir veya daha çok sayıda başka metalleri de içeren demir ve karbon alaşımlarıdır. Aşağıdaki şekilde yayılma spektrumu görülen çelik örneğinde çizelgedeki metallerden hangilerinin bulunma olasılığı vardır? Örnek içinde diğer metallerin bulunması olası mıdır? Açıklayınız.

4. Periyottaki Bazı Geçiş Metallerinin Spektrum Çizgileri (nm)

V	306,64	309,31	318,40	318,54	327,11	437,92	438,47	439,00
Cr	357,87	359,35	360,53	361,56	425,44	427,48	428,97	520,45
Mn	257,61	259,37	279,48	279,83	403,08	403,31	403,45	
Fe	344,06	358,12	372,00	373,49	385,99			
Ni	341,48	344,63	345,85	346,17	349,30	351,51	352,45	361,94



▲ **Kuramsal yayılma spekturumu**
Gerçek bir spektrumda, spektrum çizgilerinin fotoğraf görüntüsü, yayılmanın şiddetine bağlı olarak, farklı derinlik ve kalınlıkta çizgiler içerir. Bazı spektrum çizgileri, sönük oldukları için gösterilmemiştir.

114. Balmer' in, hidrojenin görünür spektrumu ile ilgili formülü, sayılarla yaptığı bir tür sınama-yanılma ile çıkarılmış gibi görünmektedir. Daha genel bilimsel yöntem, deneylerden elde edilen verileri grafiğe dökmek ve sonra bu grafiği tanımlayacak matematiksel bir denklem üretmektir. (8.2) eşitliğinin bir doğruyu tanımladığını gösteriniz. Bu doğrunun hangi değişkenlerle çizilmesi gerektiğini belirleyip doğrunun eğimini ve eksenleri kestiği noktaların sayısal değerlerini bulunuz. Hidrojen görünür spektrumundaki dört çizginin, doğru grafiğine uyduğunu doğrulamak için Şekil 8-10 daki verileri kullanınız.

115. Şekil 8-34 teki hedef tahtası benzetmesinin devamı olarak, aşağıdaki çizelgede verilen isabet sayıları ile bir grafik çiziniz. Yani, isabet sayısını hedef halkasının fonksiyonu (50, 40... vb) olarak alıp grafiğe geçiriniz. Metindeki hangi yorum bu grafiğe en çok uyar? Bu yorum ile grafik arasındaki benzerlikleri ve farkları açıklayınız.

Puanlama Serisi (1500 atış)

Atış	Sayı
200	"50"
300	"40"
400	"30"
250	"20"
200	"10"
150	karavana

116. Hidrojen atomunun yayılma ve soğurma spektrumları, kuantlaşmış sistemlere özgü çizgi spektrumları şeklindedir. Bir soğurma ölçümünde, hidrojen atomlarından oluşan örneğin üzerine, 100 nm ile 1000 nm arasında dalgaboylarına sahip ışık gönderilmektedir. Bir yayılma ölçümünde ise hidrojen atomları, enerjisi 1230 ile 1240 kJ mol^{-1} arasında olan bir enerji kaynağı ile uyarılmaktadır. Soğurma spektrumunun, tüm atomlar temel halde bulunduğu zaman, alındığını kabul ederek

(a) Soğurma spektrumunda çizgilerin konumunu hesaplayınız.

(b) Yayılma spektrumunda çizgilerin konumunu hesaplayınız.

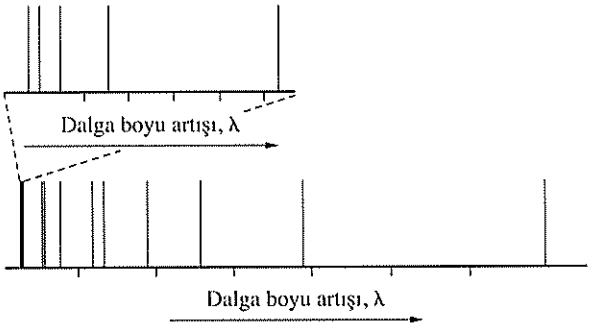
(c) Soğurma ve yayılma ölçümlerinde gözlenen spektrum çizgilerini kıyaslayınız. Her iki spektrumdaki çizgi sayısı eşit midir?

117. Saçılma merkezleri arasındaki mesafe ışımanın dalgaboyunun katları olduğunda, bir ışımada kırınım gerçekleşir.

(a) Atomlar arasındaki boşluğun 100 pm olduğu, gümüş atomlarından oluşan bir ince filmde, helyum atomlarının kırınıma uğraması için, helyum atomlarının hızı ne olmalıdır?

(b) Elektronlar belirli bir değere kadar hızlandırıldığında ince bir altın filmi tarafından kırınıma uğrarlar. Aynı hıza getirilmiş bir foton demeti de, altın filmine çarptığında kırınıma uğrar mı? Eğer uğramazsa kırınım yerine hangi olay gerçekleşir?

118. Aşağıdaki yayılma spektrumu gaz fazındaki hidrojen atomlarına aittir. Spektum, baş kuantum sayısı 6 dan başlayarak olası bütün düşük seviyelere kadar ilk beş yayılma çizgilerini içermektedir.



İhtimal dahilindeki bütün uyarılmamalar olası değildir. Geçişler *geçiş kuralı* olarak bilinen bir kavramla yönetilir. Geçiş kuralı, $\Delta\ell = \pm 1$ olduğu halde keyfi bir değer olan Δn e karşılık gelen izinli geçişleri açıklar. Foton, tek açısal momentuma sahip olduğu için, bu geçiş kuralı momentumun korunumu kavramıyla açıklanabilir. Bu geçiş kuralını ve olayı orbital türleri (*s, p, d, f*) açısından da ele alarak sayfa 358 deki spektrumda gözlenen geçişleri belirleyiniz. Manyetik alanda çizgiler manyetik kuantum sayısına göre daha fazla sayıda çizgilere yarılırlar. Farklı manyetik kuantum sayıları arasındaki geçiş kuralı $\Delta m_\ell = 0$ ve ± 1 dir. Spektrumdaki en fazla sayıda yarılan çizgiyi belirleyiniz.

Kendi Kendini Deneme Soruları

119. Aşağıdaki terim ve simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız: **(a)** λ; **(b)** υ; **(c)** h; **(d)** ψ; **(e)** baş kuantum sayısı, n.

120. Aşağıdaki kavram ve olayların herbirini kısaca tanımlayınız **(a)** atom (çizgi) spektrumu **(b)** fotoelektrik olayı; **(c)** maddesel dalga; **(d)** Heisenberg belirsizlik ilkesi; **(f)** Pauli dışlama ilkesi.

121. Aşağıdaki terim çiftleri arasındaki önemli farkları açıklayınız; **(a)** frekans ve dalgaboyu; **(b)** morötesi ve kızılötesi ışık; **(c)** kesikli ve sürekli spektrum; **(d)** hareketli (yürüyen) ve durağan dalgalar; **(e)** kuantum sayısı ve orbital; **(f)** *spdf* gösterimi ve orbital diyagramı; **(g)** *s* bloku ve *p* bloku; **(h)** baş grup ve geçiş elementi **(i)** hidrojen atomunun temel ve uyarılmış hali.

122. Çok elektronlu atom orbitallerinin, hidrojenin orbitallerine benzeyen iki yönünü ve hidrojen orbitallerinden farklı iki yönünü belirtiniz.

123. *Etkin çekirdek yükü* terimini açıklayınız. Bunun perdeleme etkisiyle ilişkisi nedir?

124. p_x, p_y ve p_z orbitallerini arasındaki farkı şekillerle açıklayınız.

125. $2p_z$ ve $3p_z$ orbitallerini arasındaki farkı şekillerle açıklayınız.

126. Aynı hızda hareket eden aşağıdaki maddesel dalgalardan hangisinin *en uzun* dalgaboyuna sahip olduğunu bularak nedenini açıklayınız: **(a)** elektron; **(b)** proton; **(c)** nötron; **(d)** α taneciği (He^{2+}).

127. Vakumda hareket eden bir elektromanyetik ışımanın aşağıdaki özelliklerinden hangisinin frekans ile doğru orantılı, hangisinin frekanstan bağımsız olduğunu açıklayınız: **(a)** hız; **(b)** dalgaboyu; **(c)** mol başına enerji.

128. Sir James Jeans, fotoelektrik olayı şu şekilde tanımlar. "O yalnızca bir taşla iki kuşun vurulmasına engel olmaz, aynı zamanda iki taşla bir kuşun vurulmasını da önler." Bu benzetmeyi, sayfa 303 deki kenar notunu dikkate alarak, yorumlayınız.

129. Modern kuantum mekaniği fikirlerini gösteren bir kavram haritası tasarlayınız.

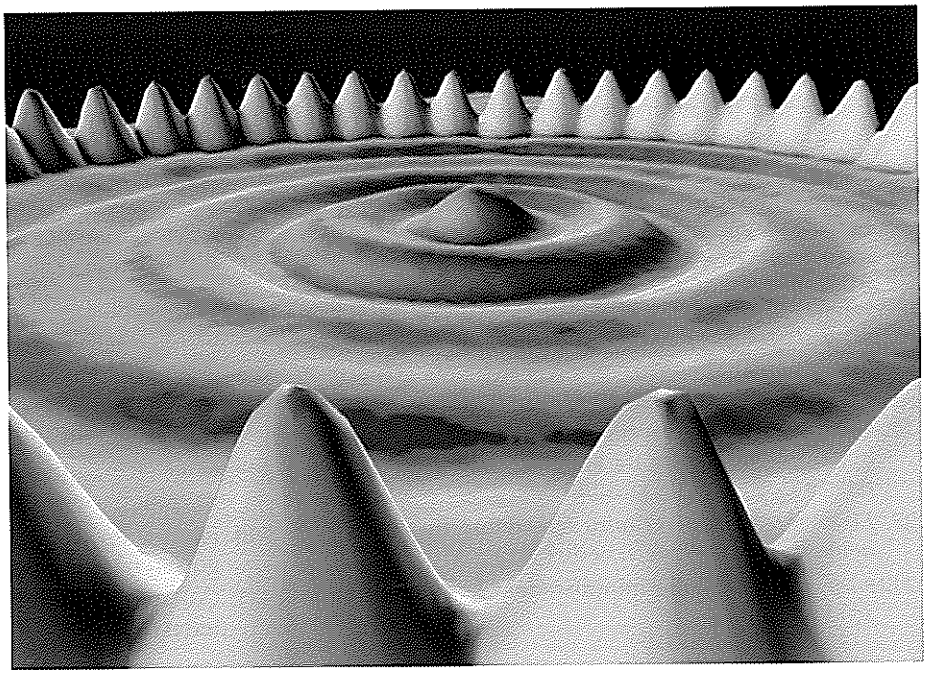
130. Hidrojenin atom orbitallerini ve onun özelliklerini gösteren bir kavram haritası tasarlayınız.

131. Çok elektronlu atomların konfigürasyonunu gösteren bir kavram haritası tasarlayınız.

9 Periyodik Çizelge ve Bazı Atom Özellikleri

İÇİNDEKİLER

9-1 Elementlerin Sınıflandırılması Periyodik Yasa ve Periyodik Çizelge
9-2 Metaller, Ametaller ve İyonları
9-3 Atom ve İyonların Büyüklüğü
9-4 İyonlaşma Enerjisi
9-5 Elektron İlgisi
9-6 Manyetik Özellikler
9-7 Elementlerin Periyodik Özellikleri



Bakır atomları üzerine adsorplanmış 48 demir atomunun, taramalı tünelleme mikroskobu görüntüsü. Demir atomları taramalı tünelleme mikroskobunun ucu ile bir bariyer oluşturmak üzere hareket ettirilmektedir. Bunun sonucu olarak bazı bakır atomları belirli bir kuantum düzeyine zorlanarak dairesel elektron yoğunluğu oluşturmaktadır. Renklendirme bilgisayar ortamında yapılmıştır. Bu bölümde periyodik çizelge ile atom ve iyonların periyodik özellikleri tartışılacaktır.

Kimyacılar eskiden beri periyodik çizelgeyi, nasıl düzenlendiğine fazla kafa yormaksızın, kendi çalışma alanlarına göre kullanmışlardır. Ancak, periyodik çizelgenin gerçek anlamı önerilişinden 50 yıl sonra keşfedilmiştir.

Periyodik çizelgenin temeli elementlerin elektron dağılımlarıdır ve bu konu 8. Bölümde de ele alınmıştır. Bu bölümde periyodik çizelge, elementlerin atom yarıçapları, iyonlaşma enerjileri ve elektron ilgileri gibi özellikleri ile birlikte tartışılacaktır. Bundan sonraki iki bölümde, kimyasal bağların açıklanması için atom özelliklerinden yararlanılacaktır. Periyodik çizelge, tüm bölümlerde vazgeçilmez bir yol gösteriÖmiz olacaktır.

9-1 Elementlerin Sınıflandırılması: Periyodik Yasa ve Periyodik Çizelge

1869 yılında, Dmitri Mendeleev ve Lothar Meyer, birbirinden bağımsız olarak aşağıda ifade edilen **periyodik yasa**yı önermişlerdir:

Elementler artan atom kütlelerine göre sıralandıklarında bazı özellikler periyodik olarak tekrarlanmaktadır.

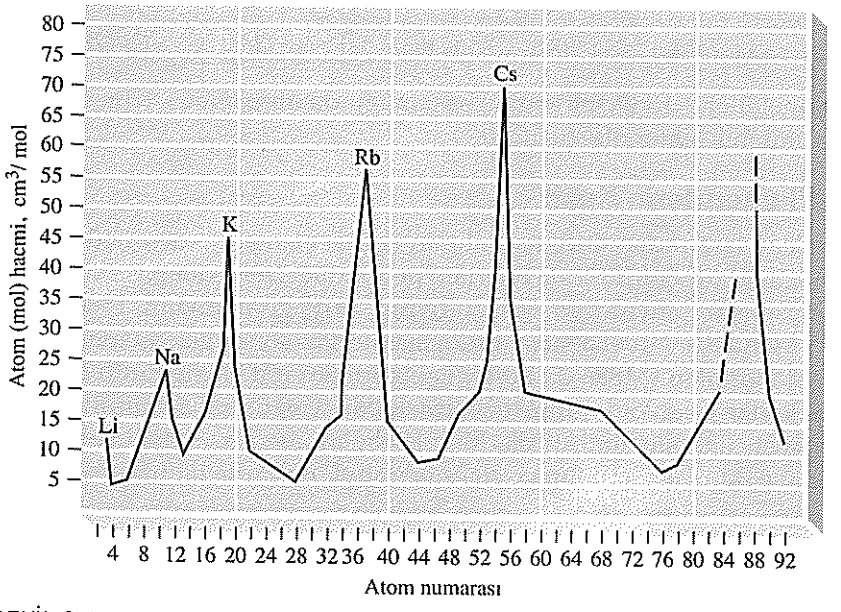
Meyer'in periyodik yasasındaki dayanak; elementlerin atom kütlesinin katı haldeki yoğunluğuna bölünmesi ile elde edilen atom haÖmleridir. Şimdi buna sadece *mol hacmi* diyoruz.

$$\text{atom (mol) hacmi } (\text{cm}^3/\text{mol}) = \text{mol kütlesi } (\text{g/mol}) \times 1/d\ (\text{cm}^3/\text{g}) \qquad (9.1)$$

Meyer sonuçlarını, atom haÖmlerinin atom kütlelerine karşı değişimi şeklinde bir grafikte göstermiştir. Şimdi bu grafikler, Şekil 9-1 de görüldüğü gibi, mol haÖmlerinin atom numarası ile değişimi şeklinde gösterilmektedir. Alkali metaller olan Li, Na, K, Rb ve Cs un atom haÖmlerinin ne kadar büyük ve periyodik olarak tekrarlandığına dikkat ediniz. Daha sonra Meyer elementlerin ve bileşiklerin sertlik, sıkışabilirlik ve kaynama noktası gibi diğer fiziksel özelliklerini de incelemiş ve bu özelliklerin de periyodik olarak tekrarlandığını bulmuştur.

Mendeleev'in Periyodik Çizelgesi

Periyodik çizelgenin, benzer elementlerin gruplar halinde düzenlenmesi olduğu belirtilmişti. Mendeleev'in çalışması Meyer'inkine göre iki nedenle daha ilgi çekiÖdir: Mendeleev çizelgesinde, keşfedilmemiş elementlerin yerini boş bırakmış ve bazı atom kütlelerinin değerlerinde düzeltmeler yapmıştır. Çizelgesindeki boşluklara atom kütleleri 44, 68, 72 ve 100 olan elementler rastlamaktadır. Bu elementler bugün skandiyum, galyum, germanyum ve teknetyum olarak bilinmektedir. Mendeleev'in atom kütle değerlerinde düzeltme yaptığı iki element indiyum ve uranyumdur.



▲ ŞEKİL 9-1
Periyodik yasasının gösterilişi - atom hacimlerinin atom numaralarına karşı değişimi
1870 de Meyer'in çizdiği grafikten uyarlanan bu çizimde, atom hacimleri atom numaralarına karşı grafiğe geçirilmiştir. Kuşkusuz Meyer zamanında soy gazlar gibi bazı elementler henüz bilinmiyordu. Bu grafik alkali metallerde (Li, Na, K ve diğerleri) pikler göstermektedir. Ametaller eğrilerin yükselen bölümlerine, metaller ise piklere, eğrilerin iniş bölümlerine ve vadilere düşmektedir.

Reihen	Gruppe I. — R^2O	Gruppe II. — RO	Gruppe III. — R^2O^3	Gruppe IV. RH^4 RO^2	Gruppe V. RH^3 R^2O^5	Gruppe VI. RH^2 RO^3	Gruppe VII. RH R^2O^7	Gruppe VIII. — RO^4
1	H = 1							
2	Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	
4	K = 39	Ca = 40	– = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59, Ni = 59, Cu = 63.
5	(Cu = 63)	Zn = 65	– = 68	– = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	?Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	– = 100	Ru = 104, Rh = 104, Pd = 106, Ag = 108
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	J = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	?Di = 138	?Ce = 140	–	–	–	– – – –
9	(–)	–	–	–	–	–	–	
10	–	–	?Er = 178	?La = 180	Ta = 182	W = 184	–	Os = 195, Ir = 197, Pt = 198, Au = 199
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208			
12	–	–	–	Th = 231	–	U = 240		



▲ **Dmitri Mendeleev (1834–1907)**
Mendeleev'in periyodik çizelgeyi keşfi, kimya ders kitaplarında elementlerin özelliklerini sistematik olarak göstermek amacıyla yaptığı çalışmaları sonucu olmuştur. Mendeleev'in son derece etkili olan kitabı, sağlığında sekiz ölümünden sonra da beş baskı yapmıştır.

Mendeleev, periyodik çizelgesinde elementleri sekiz grup (Gruppe) ve oniki sıra (Reihen) olarak düzenlemiştir. Çizelgedeki R2O, RO gibi formülleri element oksitlerini (örneğin Li_2O, MgO gibi), RH_4, RH_3 gibi formülleri de element hidrürlerini (örneğin CH_4, NH_3 gibi) göstermektedir.

▶ Alkali metallerin diğer özellikleri Kesim 9-7'de tartışılacaktır.

Mendeleev'in çizelgesinde benzer elementler düşey gruplar içine düşmekte ve bunların özellikleri grup içinde yukarıdan aşağıya doğru düzenli olarak değişmektedir. Örneğin, alkali metallerin (Mendeleev'in 1. Grubu) yüksek mol haÖmlerine sahip olduğunu görürüz (Şekil 9-1). Bunlar aynı zamanda aşağıdaki sıraya göre gittikçe azalan düşük erime noktalarına sahiptirler:

$$Li\ (174\ °C) > Na\ (97{,}8\ °C) > K\ (63{,}7\ °C) > Rb\ (38{,}9\ °C) > Cs\ (28{,}5\ °C)$$

Alkali metaller +1 yükseltgenme basamağında olup, NaCl, KBr, CsI, Li_2O gibi iyonik bileşikler oluştururlar.

Yeni Elementlerin Keşfi

Mendeleev tarafından önceden tahmin edilen elementlerden üçünün keşfi, kendisi tarafından 1871 de önerilen periyodik çizelgeden kısa süre sonra gerçekleşmiştir (galyum: 1875; skandiyum, 1879; germanyum, 1886). Çizelge 9.1, Mendeleev'in eka-silisyum (silisyumdan sonra gelen element) için yaptığı tahminlerin, 1886 da keşfedilen germanyum elementinin özelliklerine ne kadar yakın olduğunu göstermektedir. Çoğunlukla, bilimde yeni fikirler yavaş kabullenilir. Ancak, Mendeleev'in öngörüsündeki başarılarından dolayı, kimyacılar onun çizelgesine çabuk uyum sağlamışlardır.

ÇİZELGE 9.1 Germanyumun Özellikleri: Öngörülen ve Gözlenen

Özellikler	Öngörülen Eka-silisyum (1871)	Gözlenen Germanyum (1886)
Atom kütlesi	72	72,6
Yoğunluk, g/cm^3	5,5	5,47
Renk	kirli gri	gri-beyaz
Oksidinin yoğunluğu, g/cm^3	EsO_2 : 4,7	GeO_2 : 4,703
Klorürünün kaynama noktası	$EsCl_4$: 100 °C nin altında	$GeCl_4$: 86 °C
Klorürünün yoğunluğu, g/cm^3	$EsCl_4$: 1,9	$GeCl_4$: 1,887

▶ "Eka" terimi Sanskrit kökenli olup "ilk" anlamındadır. Yani, eka-silisyum "önce gelen silisyum" ve sonra bilinmeyen element gelir demektir.

Mendeleev'in tahmin edemediği elementler grubu, soy gazlardır. Mendeleev bunlar için boşluk bırakmamıştır. Soy gazları keşfeden William Ramsay periyodik çizelgede bunlar için ayrı bir grup oluşturulmasını önermiştir. Bu grubun bulunan ilk üyesi argonun, atom kütlesinin klordan daha büyük ve potasyuma daha yakın olması nedeniyle, Ramsay tarafından önerilen yeni grup, 0. grup olarak adlandırılmıştır. Bu grup halojen elementleri (VII. grup) ile alkali metaller (I. grup) arasında yer almaktadır.

Periyodik Çizelgenin Atom Numarasına Göre Düzenlenmesi

Mendeleev elementleri artan atom kütlesine göre sıralarken, periyodik çizelgesindeki grup özelliğini bozduğundan, bazılarını sıralamaya almamıştır. Kendi periyodik çizelgesine göre olması gereken grupların dışında bırakmak zorunda kalmıştır. Bunun, atom kütlelerindeki hatalardan ileri geldiğini kabul etmiştir. Atom kütlelerinin belirlenmesindeki yöntemlerin gelişmesi ve potasyumdan daha önce yer alan argonun (0. grup, atom kütlesi 39,9) keşfiyle, gerçekten bazı elementlerin "sıra dışında" kalmaları gerektiği ortaya çıkmıştır. Zamanla, bu sıra dışı yerleştirmeler kimyasal davranışlarla da doğrulanmıştır. Elementler gruplar içine kimyasal davranışlarına göre yerleştirilmiş olup bunun için herhangi bir kuramsal açıklama yoktu. Ancak 1913 de H.G.J. Moseley'in elementlerin X-ışını spektrumları üzerine yaptığı bazı çalışmalar durumu değiştirdi.



▲ **Henry G. J. Moseley (1887–1915)** Kariyerini Ernest Rutherford'un yanında sürdüren, parlak bir bilim adamıydı. I. Dünya Savaşında, Gelibolu'da öldü.

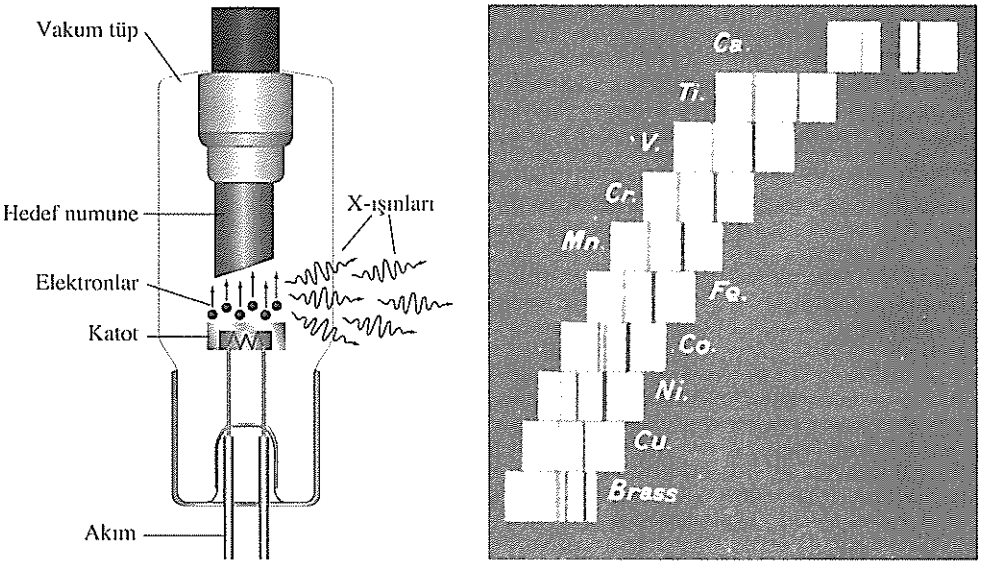
2. Bölümde de öğrendiğimiz gibi X-ışınları, elektromanyetik ışımaların yüksek frekanslı bir şeklidir. Katot ışınlarının (elektronlar), katot-ışınları tüpünün anoduna çarptırılması ile elde edilir (Şekil 9.2a). Anot *hedef* olarak adlandırılır. Moseley, Bohr atom modelini iyi biliyordu ve X-ışınları yayılımını aşağıdaki şekilde açıkladı. Hedefe gönderilen elektronlar yeterli enerjiye sahipse, hedef metal atomlarının iç orbitallerine kadar gidebilirler. Yüksek enerjili orbitaldeki elektronların düşük seviyedeki boşluklara düşmesi halinde, ayrıldıkları orbital ile düştükleri boşlukların bulunduğu orbitaller arasındaki enerji farkına bağlı olarak farklı enerjilere sahip X-ışınları yayarlar (Şekil 8.13). Moseley, elektron kabuklarının enerjisi çekirdek yüküne bağlı olduğuna göre, yayınlanan X-ışınlarının frekansının da hedef atomların çekirdek yüklerine bağlı olmaları gerektiği sonucunu çıkarmıştır. Babaoğul W.H. Bragg ve W.L. Bragg tarafından son geliştirilen teknikleri kullanan Moseley, X-ışını spektrumlarının fotoğraflarını elde etmiş ve spektrum çizgilerini frekanslarına ayırmıştır. Ca dan Zn ya kadar olan elementler için elde ettiği spektrumlar Şekil 9-2b de gösterilmektedir.

Moseley, X- ışınlarının frekansı ile elementlerin çekirdeklerindeki yük sayısı ve Mendeleev'in periyodik çizelgesindeki yerleri arasında bir ilişkinin olduğunu buldu. Örneğin, çizelgedeki onüçüncü element olan aluminyumun *atom numarasını* 13 olarak işaretlendi. Moseley eşitliği $\upsilon = A(Z\text{-}b)^2$ olup, burada υ, X-ışınının frekansı, Z atom numarası, A ve b sabitlerdir. Moseley bu ilişkiyi kullanarak üç yeni elementi önceden tahmin etmiştir (Z = 43, 61 ve 75). Bunlar, sırasıyla 1937, 1945 ve 1925 te keşfedilmişlerdir. Böylece, periyodik çizelgenin üzerinde çalıştığı kesiminde, $Z = 13$ ten $Z = 79$ a kadar, yeni bir elementin bulunamayacağını kanıtlamıştır. Mevcut tüm atom numaraları kesinleştirilmiştir. O zaman, Moseley'in çalışmaları ışığında periyodik yasayı tekrar düzenlemeliyiz.

> Elementler artan atom numaralarına göre sıralandığında benzer özellikler periyodik olarak tekrarlanmaktadır.

Modern Periyodik Çizelgenin Açıklanması: Uzun Şekli

Mendeleev'in periyodik çizelgesi sekiz gruptan oluşmakta, ancak modern periyodik çizelgelerde elementler 18 grup olarak düzenlenmektedir. Kesim 2-6 da periyodik çizelge için verilen kısa açıklamaya tekrar göz atalım.



▲ ŞEKİL 9-2
X–ışınları tüpünün şematik gösterimi ve bazı elementler için Moseley'in X-ışını spektrumları
(a) Isıtılmış bir flamanın elektron yayması, termoiyonik yayılma olarak adlandırılır. Elektronlar yüksek voltaj tarafından hızlandırılır ve metal hedefe çarptırılır. Bu yüksek enerjili elektronlar, hedef metale ait atomların iç tabakalarındaki elektronları uzaklaştırarak iyonlaşmayı sağlarlar. Bunun sonucu olarak, uzaklaşan elektronların bıraktıkları boş orbitallere daha üst enerji seviyelerindeki elektronların yerleşmesi sırasında, iki enerji düzeyinin farkına eşit enerjili X-ışını fotonları yayınlanır. (b) Bu fotoğraf Moseley'in 1913 tarihli bir yayınından alınmıştır. En üstteki Ca'dan başlayarak her element için iki çizgi görebilirsiniz. Ardarda gelen her element için çizgiler sola doğru yani X-ışınlarının frekansının artma yönünde kaymaktadır. İkiden fazla çizginin görüldüğü yerlerde incelenen numune safsızlık olarak bir ya da daha çok element içermektedir. Örneğin, dikkat edilirse Co spektrumundaki çizgilerden biri Fe spektrumundaki bir çizgiye, bir diğeri ise Ni spektrumundaki bir çizgiye denk gelmektedir. Bakır ve çinko alaşımı olan pirinç metali, Cu için iki ve Zn için iki spektrum çizgisi göstermektedir.

Periyodik çizelgede (ön kapağın iç yüzüne bakınız) düşey gruplar elementlerin benzer özellikte olanlarını bir araya getirir. Çizelgede yatay periyotlar soldan sağa elementlerin artan atom numaralarına göre düzenlenmiştir. Gruplar üstte, periyotlar sol tarafta işaretlenmiştir. İlk iki grup *s*-blok, son altı grup *p*-blok elementleri olup bunlar *baş-grup elementleri*dir. *s*-blok ile *p*-blok elementleri arasında bulunan *d*-blok elementleri *geçiş elementleri* olarak adlandırılır. *İç geçiş elementleri* olarak da adlandırılan *f*-blok elementleri, baş grup elementleriyle birlikte çizelgeyi 32 elemanlı hale genişletir. Çizelge bu haliyle çok geniş olduğundan genel olarak *f*-blok elementleri çizelgeden çıkarılarak alt kısma yerleştirilir. Baryumu (Z = 56) takip eden 15 element *lantanitler* ve radyumu (Z = 88) takip eden 15 element de *aktinitler* olarak adlandırılır.

9-2 Metaller, Ametaller ve İyonları

Kesim 2-6 da, elementler *metaller* ve *ametaller* olarak iki sınıfta toplanmış ve fiziksel özellikleri buna göre tanımlanmıştı. Çoğu metaller ısı ve elektriği iyi iletir, dövülebilir, tel haline getirilebilir ve oldukça yüksek erime noktalarına sahiptirler. Genel olarak, ametaller ısı ve elektriği iletmez, dövülemez katılardır (kırılgan). Diğer taraftan bir kısım ametaller de oda sıcaklığında gaz halindedir.

Ön kapağın iç yüzündeki periyodik çizelgede görüldüğü gibi, elementlerin büyük çoğunluğu metal ve sağ tarafta gösterilen ametallerdir (mavi renkli). Soy gazlar (mor renkli) ametallerin özel bir grubu olarak değerlendirilebilir. Metaller ve ametaller genel olarak çapraz basamaklar halinde birbirinden ayrılırlar. Bu aradaki bazı elementler yarı metaller olarak adlandırılır (yeşil renkli olanlar). **Yarı metaller**, metallere benzer ve bazen metaller gibi davranırlar. Ancak, aynı zamanda bazı ametal özelliklerine de sahiptirler.

◀ Yarı metaller (silisyum gibi) yarı iletkenlerdir ve yarı metal içeren birçok malzeme mikro işlemÖ teknolojisinde önemli rol oynar.

Orijinal periyodik çizelgede elementlerin konumları, gözlenen fiziksel ve kimyasal özelliklere göre oluşturulmuştur. Kesim 8 de, elementlerin çizelgedeki konumları ile elektron dağılımları arasındaki uyumu öğrenmiştik. Böylece, elementlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, esas olarak elektron dağılımları ile özelliklede *değerlik elektronları*nın bulunduğu dış kabuk elektronları tarafından belirlenmektedir. Baş grup elementlerinin aynı periyotta ve birbirlerine yakın olan elemanları, farklı değerlik elektron dağılımına sahip olduğundan, oldukça farklı özelliklere sahiptirler (P, S ve Cl gibi). Geçiş serisi içinde, elektron dağılımlarının farklılığı çoğunlukla iç kabuklardadır. Bu nedenle aynı periyottaki geçiş elementlerinin komşuları arasında bazı benzerlikler vardır. Özellikle *f*-blokun aynı periyodu içindeki komşu üyeler arasında birçok benzerlik bulunmuştur. Hatta lantanit elementleri arasındaki büyük benzerlikler nedeniyle, bunları tanımaya ve ayırmaya çalışan ondokuzuncu yüzyıl kimyacıları özel tanımlar ileri sürmüşlerdir.

Şimdi soy gazlardan başlayarak, elementlerin elektron dağılımları ile gözlenen özellikleri arasındaki bağlantılara kısaca göz atalım.

Soy Gazlar

Soy gazların atomları, bir atomun değerlik kabuğunda bulunabilecek maksimum sayıda elektrona sahiptir. Bu sayı helyumda iki ($1s^2$) ve diğer soy gazlarda sekizdir (ns^2np^6). Bu elektron dağılımını değiştirmek çok zordur ve soy gazlar kimyasal tepkimelere katılmaya yatkın değildirler. *s*-blok metallerinin ve 13. gruptaki Al un elektron kaybederek soy gazların elektron dağılımına ulaşmaya çalışmaları ilginçtir. Diğer taraftan, ametaller aynı yapıya ulaşmak için yeterli miktarda elektron alma eğilimindedirler.

◀ Radon, ksenon ve kripton içeren bileşikler oluşturulmuştur. Son zamanlarda argon içeren bileşikler de hazırlanmaktadır.

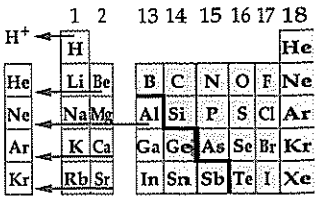
Baş Grup Metal İyonları

1. ve 2. gruplardaki atomların –en aktif metaller- bir önceki periyottaki soy gazların elektron dağılımlarından farkları, yeni bir elektron tabakası olan *s* orbitallerinde sadece bir ve iki elektron içerirmeleridir. Eğer bir K atomunun dış kabuğundaki elektron çıkarılırsa, [Ar] un elektron dağılımına sahip bir *pozitif iyon*, K^+ oluşur. Bir Ca atomundan iki elektron ayrılırsa, [Ar] un elektron dağılımı elde edilir.

$$K([Ar]4s^1) \longrightarrow K^+([Ar]) + e^-$$

$$Ca([Ar]4s^2) \longrightarrow Ca^{2+}([Ar]) + 2\,e^-$$

Ancak, metal atomları elektronlarını kendiliklerinden kaybetmezler. İyonlaşmayı sağlayacak kadar bir enerji gerekir ve bu da bir başka olayın birlikte olması ile sağlanır (ametal iyonları ile birbirini çekme gibi). Alüminyum soy gaz elektron dağılımına sahip iyon (Al^{3+}) oluşturan tek *p*-blok metalidir. Diğer *p*-blok elementleri 10 *d* elektronlarını kaybederek bir önceki soy gaz yapısına ulaşırlar. Diğer *p*-blok metal iyonlarının elektron dağılımları Çizelge 9.2 de özetlenmiştir.



▲ Metaller soy gazların elektron dağılımlarına ulaşmak için elektron kaybetme eğilimindedirler.

ÇİZELGE 9.2 Bazı Metal İyonlarının Elektron Dağılımları[a]

"Soy Gaz"		"Yalancı-Soy Gaz"[b]	"18 + 2"[c]	Diğer
Li^+	Be^{2+}	Ga^{3+}	In^+	Cr^{2+}, Cr^{3+}
Na^+	Mg^{2+}	Tl^{3+}	Tl^+	Mn^{2+}, Fe^{2+}
K^+	Ca^{2+}	Cu^+	Sn^{2+}	Fe^{3+}, Co^{2+}
Rb^+	Sr^{2+}	Ag^+, Au^+	Pb^{2+}	Ni^{2+}, Cu^{2+}
Cs^+	Ba^{2+}	Zn^{2+}	Sb^{3+}	
Fr^+	Ra^{2+}		Bi^{3+}	
Al^{3+}				

[a] Baş grup metallerinin iyonları siyah ve geçiş metallerinin iyonları mavi ile gösterilmiştir.
[b] "Yalancı soy gaz" olarak belirtilen elektron dağılımında en dış kabuktaki tüm elektronlar kaybedilmiştir. Atomun en dıştan bir önceki elektron kabuğu, şimdi iyonun en dış kabuğu olmuştur ve 18 elektron içermektedir. Örneğin Ga^{3+}: $[Ne]3s^23p^63d^{10}$.
[c] "18+2" olarak belirtilen elektron dağılımında, iki tane *s* elektronu dışında, tüm dış kabuk elektronları kaybedilmiş ve en dış kabukta 2 ve bir önceki kabukta 18 elektronu olan iyonlar meydana gelmiştir. Örneğin Sn^{2+}: $[Ar]3d^{10}4s^24p^64d^{10}5s^2$.

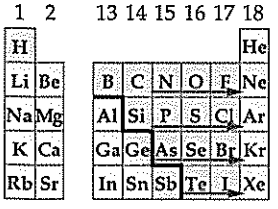
Baş Grup Ametal İyonları

En etkin ametaller olan 17. ve 16. gruplardaki atomların, periyodun sonundaki soy gazlardan sırasıyla bir ve iki elektron eksiği vardır. 17. ve 16. gruplardaki atomlar yeterli sayıda elektron *kazanarak* soy gaz atomlarının elektron dağılımına sahip olabilirler.

$$Cl\ ([Ne]3s^23p^5) + e^- \longrightarrow Cl^-\ ([Ar])$$

$$S\ ([Ne]3s^23p^4) + 2\,e^- \longrightarrow S^{2-}\ ([Ar])$$

Çoğu zaman bir ametal atomu tek bir elektronu kendiliğinden alabilir. Ancak, daha fazla elektron alabilmesi için enerji gerekir. Genellikle, gerekli olan bu enerji aynı anda olan başka bir işlem tarafından sağlanır (pozitif ve negatif iyonların birbirini çekmesi gibi). 3– değerlikli ametal iyonları azdır. Ancak, bazı metal nitrürlerin nitrür iyonu, (N^{3-}) ve bazı metal fosfatların da fosfin iyonu, (P^{3-}) içerdiği bilinmektedir.



▲ Ametaller soy gazların elektron dağılımlarına ulaşmak için elektron alma eğilimindedirler.

Geçiş Metallerinin İyonları

Aufbau kuralında $(n\text{-}1)d$ alt kabuğuna elektron girmeden önce *ns* alt kabuğunun dolduğu görülür (sayfa 340). Ancak bu iki alt kabuğun enerjileri birbirine oldukça yakındır (Şekil 8-36). Bu nedenle, geçiş metal atomları iyonlaşırken *ns* alt kabuklarının boşaltılması sürpriz değildir. Örneğin, Ti atomunun elektron dağılımı $[Ar]3d^24s^2$ dir ve Ti^{2+} nin elektron dağılımı $[Ar]3d^2$ olur. Bundan başka, bazı hallerde *ns* elektronları ile birlikte bir ya da daha çok $(n\text{-}1)d$ elektronu kaybedilebilir. Bu durum [Ar] un elektron yapısında olan Ti^{4+} oluşumunda geçekleşir.

▶ Nötür bir atomun elektron dağılımından bir katyonun elektron dağılımına geçilirken, elektronların öncelikle kuantum sayısı *en yüksek* orbitallerden ayrılacağını unutmayınız.

Birkaç geçiş metal atomu, Sc dan Sc^{3+} ve Ti dan Ti^{4+} oluşması gibi, iyon haline dönüşerek soy gaz elektron dağılımına ulaşır. Ancak çoğu geçiş metallerinde bu durum gerçekleşmez (Çizelge 9.2). Bir demir atomunun $4s^2$ elektronlarını kaybederek Fe^{2+} oluşturmak suretiyle soy gaz atomunun elektron dağılımını kazanmadığı gibi.

$$Fe\ ([Ar]3d^64s^2) \longrightarrow Fe^{2+}\ ([Ar]3d^6) + 2\,e^-$$

Buna ek olarak *3d* elektronlarından da kaybederek Fe^{3+} iyonu oluşturur.

$$Fe\ ([Ar]3d^64s^2) \longrightarrow Fe^{3+}\ ([Ar]3d^5) + 3\,e^-$$

Fe^{3+} ün 3d alt kabuğu yarı doludur ve bu durum Fe(II) nin Fe(III) e kolayca yükseltgenmesine yardımcı olur. *d* ya da *f* alt kabuklarının yarı dolu ya da dolu elektron dağılımları kendilerine özgü bir kararlılık gösterirler. Bu tür elektron dağılımı gösteren bir çok geçiş metali iyonu vardır.

Hidrojen

Diğer tüm elementler periyodik çizelgede belirli bir yere sahip olduğu halde, hidrojenin belirli bir yeri yoktur. 1. gruba yerleştirilme nedeni ise hidrojen atomunun $1s^1$ konumunda bir tek elektronunun olması ve sadece bu nedenle 1. gruba benzemesidir. Aynı nedenle hidrojen ametaller grubunda da gösterilir. Hidrojen 2 milyon bar basınç altında metalik özellik de gösterir, ancak sıradan laboratuar koşullarında bu basıncın uygulanması neredeyse imkansızdır. Hidrojenin soy gazlara benzemesi de, soy gazların elektronik yapısına ulaşması için sadece bir elektron eksiğinin olmasındandır. Bu elektron yapısı nedeniyle bazen 17. grupta gösterildiği de olur. Ancak hidrojen gerçekte halojenlere pek benzemez. Örneğin, F_2 ve Cl_2 çok iyi birer yükseltgen olduğu halde, H_2 indirgen bir maddedir. Hidrojenin periyodik çizelgedeki yeri için bir başka seçenek de periyodik çizelgenin en üstünde orta yere yerleştirilmesidir.

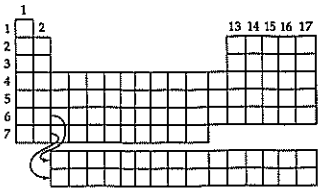
9-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Yan tarafta verilen boş periyodik çizelgenin nereleri, aşağıdaki tanımlamalara uygun elementlerin yerlerini gösterir?

(a) Na^+ katyonu ile aynı elektron dağılımına sahip soy gaz

(b) Bir soy gazın elektron dağılımına sahip ve 3– yükü olan bir ametal anyonu.

(c) *s* ve *p* yörüngelerinde değerlik elektronu olmayan ve 2+ yüklü bir geçiş metali iyonu



9-3 Atom ve İyonların Büyüklüğü

Daha önceki bölümlerde stokiyometriyi incelerken atom kütlelerinin önemini ortaya koyduk. Bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri anlamak için atom büyüklükleri hakkında da bazı şeyleri bilmemiz gerekmektedir. Bu bölümde atom yarıçapı tanımlanacak ve grupların atom özelliği incelenecektir.

Atom Yarıçapları

Ne yazık ki, atom yarıçaplarını belirlemek zordur. Atom çekirdeğinden uzaklaştıkça elektronların bulunma olasılığı azalmakta, ancak hiçbir zaman bu olasılık sıfır olmamaktadır. Bu nedenle bir atomun kesin bir dış sınırı yoktur. Bu durumda, elektron yük yoğunluğunun % 95 ini içinde bulunduran, çekirdek dışındaki bir uzaklığa göre bir *etkin* atom yarıçapının belirlenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte tüm ölçebildiğimiz, bitişik atomların çekirdekleri arasındaki uzaklıktır. Bu uzaklığın, atomların kimyasal bağ yapması ya da bağ yapmaksızın birbirine değmesi durumlarına bağlı olarak farklılık göstermesine karşın, atom yarıçapları ancak çekirdekler arası uzaklıktan belirlenebilmektedir.

Öncelikle bağ yapmış atomlarla ilgilendiğimizden, atom yarıçaplarını belirlemek için esas olarak kimyasal bağlarla bağlı iki atom arasındaki uzaklık dikkate alınacaktır. **Kovalent yarıçap,** tek bir kovalent bağla bağlanmış eşdeğer iki atomun çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır. **İyon yarıçapı** iyonik bağla bağlanmış iyonların çekirdekleri arasındaki uzaklığa göre verilir. İyonlar eşdeğer büyüklükte olmadığından, aralarındaki uzaklık katyon ve anyon arasında uygun olarak bölüştürülmelidir. Bunun bir yolu, yük yoğunluğuna bağlı olarak bir iyonun yarıçapını belirlemek ve diğer iyonların yarıçapını buna bağlı olarak bulmaktır. Örneğin, O^{2-} nin 140 pm olarak kabul edilen yarıçapı referans alınabilir. Bir başka seçenek olarak F^- iyonunun yarıçapı referans alınabilir. İyonik yarıçap verileri kullanılırken hangi referansın alındığı mutlaka bilinmeli ve karıştırılmamalıdır. O^{2-} nin 140 pm olarak alındığı referanstan hareketle, MgO'in belirlenen çekirdekler arası uzaklığından Mg^{2+} nin yarı-

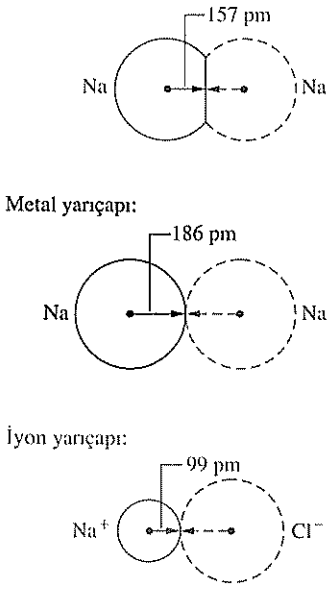
▶ SI kurallarına rağmen, X-ışını kristalografisi ile ilgili konularda ya da atom veya molekül boyutlarında çalışan kişiler hala Å (angstrom) birimini kullanmayı sürdürmektedirler.

çapı, $MgCl_2$ ün çekirdekleri arasındaki uzaklığından Cl^- ün, NaCl ün çekirdekleri arasındaki uzaklığından Na^+ un yarıçapı elde edilebilir. Metaller için **metal yarıçapı**, kristal haldeki katı metalde yan yana bulunan iki atomun çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısı olarak belirlenir. Benzer şekilde, soy gazların katı örneklerinde komşu atomların merkezleri arasındaki uzaklığın yarısı da **van der Waals yarıçapı** olarak adlandırılır. Soy gaz atomlarının van der Waals yarıçaplarını deneysel olarak belirlemek zor olduğundan, soy gazların atom yarıçapı değerleri tartışmalıdır. Bu nedenle atom yarıçaplarının değişme yönü tartışılırken çoğunlukla soy gazlar hariç tutulur.

Atom boyutları için uzun zaman angström, Å, birimi($1Å = 10^{-10}m$) kullanıldı. Ancak, SI birim sisteminde angstrom kabul edilmemiştir. SI birimleri nanometre (nm) ve pikometredir (pm).

$$1\ nm = 1 \times 10^{-9}\ m;\ 1pm = 1 \times 10^{-12}\ m;\ 1\ nm = 1000\ pm \qquad (9.2)$$

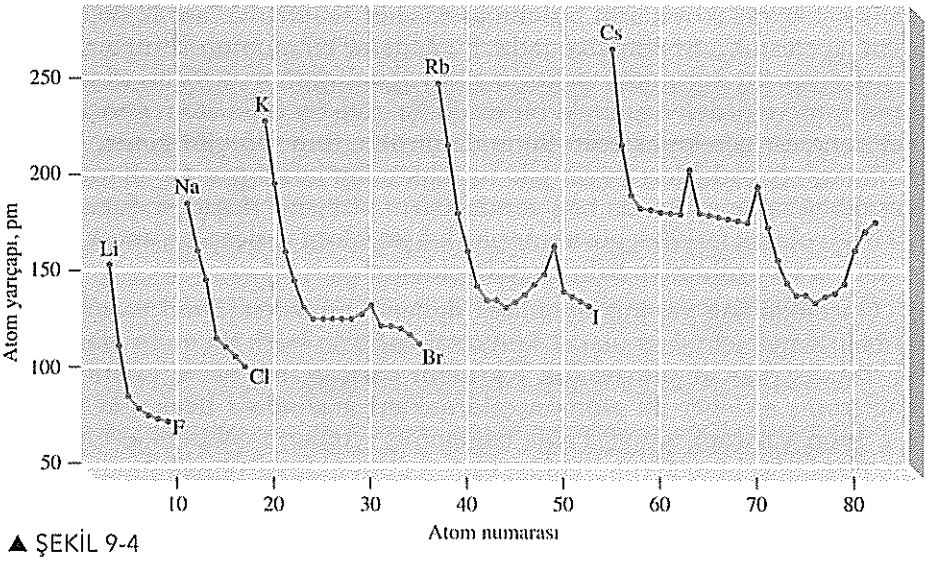
Sodyum için kovalent, iyon ve metal yarıçaplarının belirlenmesi, kıyaslamalı olarak Şekil 9-3 de gösterilmiştir. Şekil 9-4 de, birçok elementin atom yarıçaplarının atom numaralarına karşı değişimleri çizilmiştir. Bu tür çizimlerde genel olarak metallerin metal yarıçapı, ametallerin ise kovalent yarıçapı kullanılır. Burada da öyle yapılmıştır. Şekil 9-4, atom yarıçapları değişiminde belirli eğilimlerin olduğunu göstermektedir. Örneğin, 1. grupta oldukça büyük olan atom yarıçapları periyot boyunca azalmakta ve bu değişim en küçük yarıçaplı elementlerin yer aldığı 17. gruba kadar sürmektedir. Bu eğilimi açıklamak için Kesim 8 in girişindeki konuya dönelim.



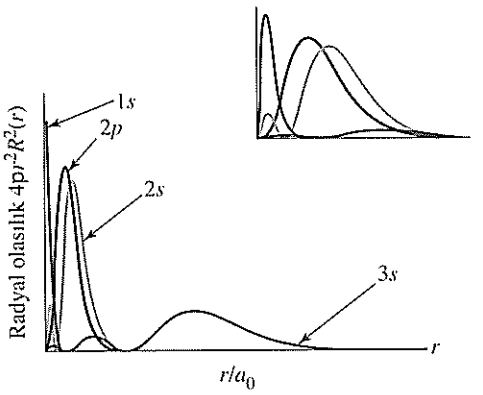
▲ ŞEKİL 9-3
Kovalent, metal ve iyon yarıçaplarının karşılaştırılması
Atom yarıçapları koyu oklarla gösterilmiştir. Kovalent yarıçaplar gaz halindeki sodyumda bulunan iki atomlu molekül $Na_2(g)$'a göre tanımlanır. Metal yarıçapı katı sodyum içinde birbirine değen sodyum atomları Na(k), temel alınarak belirlenir. Na^+ un iyon yarıçapının değeri metin içinde açıklanan karşılaştırma yöntemiyle bulunur.

Perdeleme ve Girinim

Kesim 8-10 da, girinim elektronların çekirdeğe yaklaşabilmeleri olarak açıklanmıştı. Açısal dağılım olasılığına göre, *s* elektronlarının oldukça yüksek olasılıkla çekirdeğe yakın olarak toplandığı görülür (Şekil 8-35). Çekirdeğe yaklaşmaları (girinimleri) *p* elektronlarından daha iyidir. Bunlar da çekirdeğe *d* elektronlarından daha fazla girinim yaparlar. Perdeleme ya da gölgeleme, çekirdek yükünün iç kabuk elektronlarının engellemesi nedeniyle, dış kabuk elektronları üzerine daha az hissedilmesi demektir.



▲ ŞEKİL 9-4
Atom yarıçapları
Yukarıdaki grafikte, metaller için metal yarıçapları, ametaller için kovalent yarıçapları esas alınmıştır. Soy gazlar için kovalent yarıçapların ölçülmesindeki zorluk nedeniyle, bu elementlere ait değerler burada verilmemiştir (sadece Kr ve Xe bileşikleri bilinmektedir). Periyotların orta bölgelerinde görülen küçük piklerle ilgili açıklamalar şu anda konumuz dışındadır.

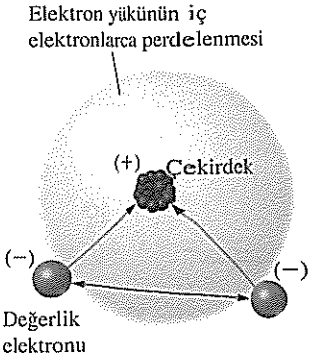


◀ ŞEKİL 9-5
Magnezyumun radyal dağılım olasılığı
Magnezyumun 1s, 2s ve 3s orbitalleri için $4\pi r^2R^2(r)$ değerlerinin r nin fonksiyonu olarak değişimleri. Grafikler, Çizelge 8.1 de verilen Z_{et} =11,61 (1s için); Z_{et} =7,39 (2s için); Z_{et} = 7,83 (2p için) ve Z_{et} = 3,31 (3s için) değerleri ile oluşturulan radyal fonksiyonlar yardımıyla çizilmiştir. Şekil içinde gösterilen küçük boyutlu grafik, olasılık fonksiyonunun r = 0 dolayını daha iyi göstermek için çizilmiştir.

Her atomun adım adım oluşumunu sağlayacak hayali bir işlem ele alalım ve üçüncü periyodun ilk üyesi olan sodyumdan başlayalım. Bu işlemde iç elektron kabuklarındaki elektron sayıları sabit ve 10 tane olup, elektron dağılımı $1s^22s^22p^6$ şeklindedir. İlk yaklaşım olarak iç kabuktaki elektronların eşdeğer miktarda çekirdek yükünü nötrleştirdiğini *varsayalım*. Böylece iç kabuk elektronları, dış kabuk elektronları ile çekirdek arasındaki çekme etkisini gölgeleyecek ya da perdeleyecektir. Diğer taraftan dış kabuk elektronlarının birbirlerini perdelemediğini kabul edelim. Son olarak, çekirdeğin gerçek yükü ile perdeleme yapan elektronların yükü arasındaki farkı, ilk olarak Kesim 8-10 da değinildiği gibi, **etkin çekirdek yükü, Z_{et},** olarak ifade edelim.

$$Z_{et} = Z - S \tag{9.3}$$

Burada S, dış elektronları perdeleyen iç elektronların sayısıdır. Bu iki varsayıma göre, sodyumda (Z = 11) on elektron, çekirdek yükünün 10 birimini perdeleyecek (yani, S = 10), geriye 11-10 = +1 çekirdek yükü kalacaktır. Magnezyumda (Z = 12) Z_{et}, +2, aluminyumda Z_{et}, +3 olacak ve periyot boyunca böyle devam edecektir.



▲ ŞEKİL 9-6
Perdeleme etkisi ve etkin çekirdek yükü, Z_{et}
İki değerlik elektronu (mavi) Mg atomunun çekirdeği tarafından çekilir. Atomun 12+ çekirdek yükü, içteki on tane elektron tarafından (gri) perdelenir, ancak tamamen perdelenmez. Değerlik elektronları da birbirlerini bir miktar perdeler. Sonuçta, etkin çekirdek yükü 2+ den çok 3+ ya daha yakındır.

Gerçekte, iç kabuk elektronlarınca tamamen perdeleme yapılması ve dış kabuk elektronlarınca hiç perdeleme yapılmaması yaklaşımı doğru değildir. Bu kabuller, iç ve dış kabuk elektronlarının farklı açısal dağılımlara sahip olduğu ve bu nedenle çekirdeğe farklı derecelerde yaklaşabildikleri gerçeğini göz ardı eder (Şekil 9.5). Böylece, s elektronlarının büyük girinimi nedeniyle perdelemeleri p elektronlarınınkine göre daha azdır. Benzer şekilde, p elektronları d elektronlarından daha az perdelenir ve bunların girinimleri de azdır. Sodyum atomunda on tane iç kabuk elektronu çekirdek yükünün yaklaşık olarak sadece 8,5 birimini dengeler ve Z_{et} değeri +1 değil, +2,5 dolayındadır. Aynı zamanda dış kabuk elektronları da birbirlerini belirli ölçüde perdelerler. Her bir dış kabuk elektronu bir diğer dış kabuk elektronunu yaklaşık üçte bir oranında perdeleme etkisi gösterir. Böylece, iki tane dış kabuk elektronu bulunan magnezyum atomunda Z_{et} değeri +2 değil yaklaşık olarak 12 - 8,5 -1/3 = +3,2 dir (Şekil 9-6). Görüldüğü gibi atom ve iyonların özelliklerinin periyodik çizelgedeki değişimleri büyük ölçüde etkin çekirdek yükleri, Z_{et} ile belirlenmektedir.

Girinim ve Perdeleme Etkileri: Çok elektronlu atomların dalga fonksiyonu girinim ve perdeleme etkisinin nitel olarak anlaşılmasını sağlar. Basitleştirilmiş şekilde, çekirdek yükü yerine Z_{et} kullanılarak kabuk enerjisi yaklaşık olarak,

$$E_n = -R_H\frac{Z_{eff}^2}{n^2} \tag{9.4}$$

şeklinde verilir. Burada Z_{et}, n tabakasındaki etkin çekirdek yüküdür. Diğer tüm simgeler genel olarak bilinen anlamdadır (Kesim 8 e bakınız). Eşitlik 9.4, Schrödinger eşitliğinin çözümü ile elde edilen hidrojen atomu

▶ (9.5) eşitliğinin önemli terimi n'inÖ Bohr yörüngesinin Bohr yarıçapıdır. Z_{et}= 1 alınarak H atomunun orbitalleri bu formülden belirlenebilir.

enerjisi ile aynı yapıdadır. Çok elektronlu atomlar, bazı varsayımlar yapılarak tek elektronlu atomlara indirgenebilir ve böylece elde edilen eşitlik yinede yaralıdır. Orbitalin ortalama büyüklüğü, orbitaldeki elektronun çekirdekten ortalama uzaklığı, $\bar{r}_{nl}$, olarak alınır.

$$\bar{r}_{nl} = \frac{n^2 a_0}{Z_{\text{eff}}}\left\{1 + \frac{1}{2}\left[1 - \frac{\ell(\ell+1)}{n^2}\right]\right\} \qquad (9.5)$$

9-1 MERAK EDİYORSANIZ...

Elektronlar tarafından perdeleme yapıldığı nereden öngörülmüştür?

Bu öngörüler çok elektronlu atomların dalga fonksiyonları analizinden çıkarılmıştır. Schrödinger eşitliğinin gerçek çözümü hidrojen atomu için elde edilebilir, fakat çok elektronlu atomlar için sadece yaklaşık çözümler olanaklıdır. Hesaplamalar, atomdaki her elektronun hidrojen atomunda olduğu gibi bir orbitali işgal ettiği ilkesinin kabulüne dayanır. Ancak, orbitalin işlevsel şekli bir başka kabule göredir; elektronlar, diğer elektronların belirlediği ortalama ya da etkin bir alanın etkisiyle hareket eder. Bu kabulle, karmaşık çok elektronlu Schrödinger eşitliği, her bir elektron için anlık eşitlik setine döner. Her eşitlik, elektron için bilinmeyen etki alanı ve orbitale ait bilinmeyen fonksiyonlar içerir. Bu eşitlikler setini yaklaşık olarak çözmek için, orbitallerin işlevlerini tahmin etmek, orbitalde hareket eden elektronların her biri için ortalama bir potansiyel enerji hesaplamak ve her bir elektron için oluşturulan yeni orbitaller sistemini çözümlemek gerekir. Yeni orbitallerin başlangıçta düşünülen şekilden daha iyi olması beklenir. Yeni orbitaller kullanılarak elektronlar için yeni etkin alanları hesaplanır ve orbitallerde bu değerler çok değişmez hale gelinceye kadar tüm işlemler tekrarlanır.

Bu işlem *kendi kendine alan oluşturma yöntemi (SCF)* olarak adlandırılır ve daha bilgisayar icat edilmeden önce 1936 da Douglas Hartree tarafından geliştirilmiştir. Artık atom ve moleküllerin dalga fonksiyonları, bilgisayarla SCF yöntemi uygulanarak elde edilmektedir. Bu da modern kimya araştırmalarında, molekül modellemesi için yardımcı olmaktadır.

SCF hesaplamaları ile elde edilen atom orbitalleri, hidrojen atomunun atom orbitallerine çok yönden büyük benzerlik göstermektedir. Orbitallerin açısal ilişkileri eşdeğerdir. Böylece orbitaller karakteristik şekilde s, p, d, f şeklinde tanımlanabilir. Orbitallerin etkin olanları hidrojen için bulunandan farklı olduğu için, radyal fonksiyonları da hidrojenden farklı olmakla birlikte baş kuantum sayıları hala belirlenebilmektedir. Böylece çok elektronlu atomların her elektronu dört kuantum sayısı ile, n, l, m_l ve m_s ile birbirine bağlıdır. Perdeleme sabitinin öngörülmesi SFC hesaplamasından elde edilen radyal fonksiyonunun analizine bağlıdır.

(9.5) eşitliğinde tüm simgeler bilinen anlamlardadır. Yine, (9.5) eşitliği çekirdek yükü Z_{et} olmak üzere, hidrojen ya da hidrojen benzeri atomlar için olup çok elektronlu atomlar için de yaklaşık olarak geçerlidir. (9.4) ve (9.5) eşitlikleri yaklaştırmadır ancak yinede atom özelliklerinin yarı nitel açıklanmasında oldukça kullanışlıdır. Bundan sonra periyodik çizelgede atom yarıçapları ile ilgili çok önemli üç eğilim üzerinde duracağız.

UNUTMAYINIZ

s ve p değerlik elektronları çekirdek yakınında bulunabilme olasılığına sahiptir (Şekil 8-35). Bu elektronlar iç kısımlara girinim yaparak, çekirdekle beklenenden fazla etkileşebilirler.

1. **Periyodik Çizelgenin Bir Grubunda Atom Yarıçaplarının Değişimi.** Şekil 8-35 ve (9.5) eşitliğinden görüldüğü gibi, n in artması ile birlikte çekirdekten uzaklaştıkça radiyal olasılık yoğunluğu artar. Böylece, daha büyük atomlarda atomların elektronlarca işgal edilen daha çok sayıda elektron kabuğu belirir. Bu düşünce, düşük atom numaralı grup üyelerine uyar. Bunlarda bir periyottan diğerine geçerken atom yarıçapları büyür (1. grupta Li dan Na ve K'a geçişte olduğu gibi). Daha büyük atom numaralarında, yarıçaptaki artış daha küçüktür (1.grupta K'dan Rb ve Cs'a geçişte olduğu gibi). Atom numa-

rası büyük olan bu elementlerde dış kabuk elektronları beklenenden daha sıkı tutulurlar. Bunun nedeni, *d* ve *f* orbitallerindeki iç kabuk elektronlarının, dış kabuk elektronlarını çekirdekten perdelemede *s* ve *p* elektronlarından daha az etkili olması ve bunun sonucu Z_{et} in beklenenden büyük olmasıdır. Bununla birlikte aşağıdaki ifade genel olarak doğrudur.

Elektron kabuğu çoğaldıkça atom yarıçapı büyür. Atom yarıçapı, grup elementleri içinde yukarıdan aşağıya doğru artar.

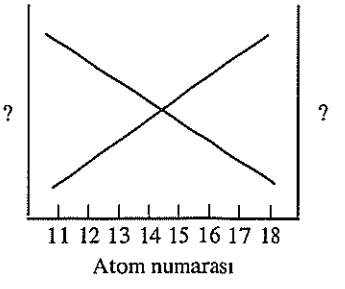
2. **Periyodik Çizelgenin Bir Periyodunda Atom Yarıçapının Değişimi.** Şekil 9-4 de görüldüğü gibi, genel olarak bir periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe atom yarıçapları küçülür. Şekle dikkatlice bakılırsa, bu değişimin geçiş elementlerine uygulanamayacağı görülür. Yarıçaplar genel olarak küçülme eğilimi göstermesine karşın, geçiş elementleri ile ilgili bu özel durumun nedenine göz atalım.

   Bir periyot boyunca, her elementin atom numarası artarak gider. Baş grup elementlerinde, atom numarası arttıkça değerlik kabuğuna giren elektronların sayısı da artar. Çekirdek yükü arttıkça, aynı kabukta bulunan değerlik elektronları birbirini zayıfça perdeler. Li un 2*s* elektronları için Z_{et} değeri 1,3 ve Be için 1,9 olarak verilmektedir. Böylece, bir periyodun baş gruplarında Z arttıkça Z_{et} artar. Bir periyot boyunca baş kuantum sayıları sabit kalır. Bunun sonucun olarak (9.5) eşitliğinde ister Z_{et}, isterse sadece çekirdek yükü, Z, kullanılsın sonuç aşağıdaki gibidir.

◀ Z_{et} değeri özellikli Soru73 deki kurallar uygulanarak öngörülebilir.

Bir periyot boyunca soldan sağa gidildikçe atomların yarıçapları küçülür.

3. **Bir Geçiş Serisi İçerisinde Atom Yarıçaplarının Değişimi.** Geçiş elementlerinde durum yukarıda açıklanandan biraz farklıdır. Şekil 9-4 de görüldüğü gibi geçiş elementlerinin atom yarıçapları, birkaç sapma dışında periyot boyunca yaklaşık aynıdır. Sapmaların açıklanması konumuzun dışında olmakla birlikte, genel gidişi anlamak zor değildir. Geçiş elementleri serisi içinde, eklenen elektronlar *iç* elektron kabuğuna girerek, dış elektronların çekirdek yüküne karşı perdelenmesine katılırlar. Aynı zamanda, *dış* tabakadaki elektron sayısı sabit kalır. Böylece, dış kabuk elektronlarının geçiş serisi boyunca çekirdek tarafından çekimi nisbeten sabit kalır. Örneğin, Fe, Co ve Ni göz önüne alındığında, Fe çekirdeğinde 26 proton ve 24 iç kabuk elektronu bulunur. Co da (Z = 27), 25 iç kabuk elektronu ve Ni de (Z = 28) 26 iç kabuk elektronu vardır. Her bir durumda dış kabuk elektronu aynı net yükün etkisindedir (yaklaşık +2). Yani 4*s* elektronları için Z_{et} birinÖ geçiş serisinde yaklaşık sabit kalır. Böylece, geçiş serisi boyunca atom yarıçapları çok fazla değişmez. Böylece, bu serinin üç elementi için atom yarıçapı çok fazla değişmez. Bunlar, Fe için, 124 pm, Co ve Ni için 125 pm olarak verilmektedir.



9-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Yan taraftaki grafikte Z_{et} ve atom yarıçaplarının, atom numarası artışı ile değişimi gösterilmiştir. Hangi çizgi Z_{et} değişimini ve hangi çizgi atom yarıçaplarının değişimini göstermektedir?

ÖRNEK 9-1 Periyodik Çizelgedeki Konumların Atom Büyüklüğü ile İlişkisi

Kitabın ön kapağının iç yüzünde verilen periyodik çizelgeye göre, şu atomların en büyüğü hangisidir: Sc, Ba veya Se?

Analiz

Önce, verilen elementleri periyodik çizelgeye yerleştirerek aynı periyotta olup olmadıklarını ve periyodik çizelgenin sağ ya da sol yanında bulunup bulunmadıklarını belirleyelim. Ancak o zaman yukarıdaki kuralları, atomların (ya da iyonların) bağıl büyüklüklerine karar vermek için uygulayabiliriz.

Çözüm

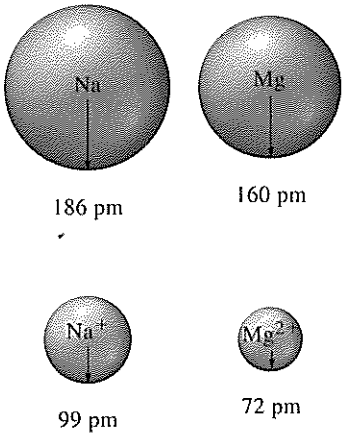
Se ve Sc elementlerinin ikisi de dördüncü periyottadır ve aynı periyotta soldan sağa doğru gidildikçe atom boyutları azalacağından Sc, Se dan daha büyük olmalıdır. Ba elementi ise altıncı periyottadır ve Sc ve Se dan daha çok elektron tabakası vardır. Bundan başka, periyodik çizelgenin sol tarafına Sc dan (3.grup) daha yakında (Ba, 2. grup) bulunur. Buna göre Ba atomunun verilen üç atomun en büyüğü olması gerektiğini söyleyebiliriz.

Değerlendirme

Yukarıda verilen kurallara göre, atomların büyüklük sırası $r_{Ba} > r_{Sc} > r_{Se}$ şeklinde verilebilir. Gerçek atom yarıçapları Se, 117 pm; Sc, 161 pm ve Ba, 217 pm dir.

ALIŞTIRMA A: Kitabın ön kapağın iç yüzündeki periyodik çizelgeyi kullanarak, As, I ve S atomlarından hangisinin en küçük olduğunu tahmin ediniz.

ALIŞTIRMA B: Aşağıda verilen atomlardan hangisinin boyutunun Na atomuna en yakın olduğunu düşünürsünüz: Br, Ca, K ya da Al? Yaklaşımınızın nedenini açıklayınız, ancak kararınızı desteklemek üzere bölüm içinde verilen çizelge değerlerini kullanmayınız.



▲ ŞEKİL 9-7
Atom ve iyon büyüklüklerinin karşılaştırılması
Na ve Mg'un metal yarıçapları ile Na^+ ve Mg^{2+} un iyon yarıçapları gösterilmiştir.

İyon Yarıçapları

Bir metal atomu pozitif bir iyon oluşturmak üzere bir ya da daha çok elektron kaybettiğinde, çekirdekteki pozitif yük miktarı elektron sayısından daha fazla olur. Bu durumda, çekirdek, elektronları daha kuvvetli çeker ve aşağıda belirtilen sonuç ortaya çıkar.

Katyonlar oluştukları atomlardan daha küçüktürler.

Şekil 9-7 de dört örnek karşılaştırılmaktadır: Na ve Mg atomları ile Na^+ ve Mg^{2+} iyonları. Beklendiği gibi, Mg atomu Na'dan, katyonları da kendi atomlarından daha küçüktür. Na^+ ve Mg^{2+} izoelektronik (eş elektronlu) olup aynı sayıda elektrona (10) ve elektron dağılımına sahiptir; $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$. Mg^{2+} iyonunun çekirdek yükü daha büyük olduğu için Na^+ iyonundan daha küçüktür (Mg'da +12, Na'da +11 dir).

Eşit sayıda elektron içeren (izoelektronik) katyonlarda, iyon yükü daha büyük olan katyon boyut olarak daha küçüktür.

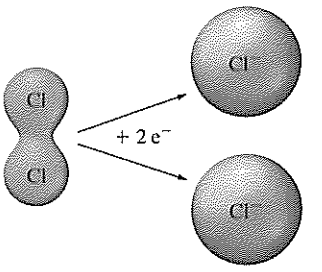
Bir ametal negatif iyon (anyon) oluşturmak üzere bir ya da daha çok elektron aldığında, çekirdek yükü sabit kalırken, fazla elektron nedeniyle Z_{et} değeri azalır. Bu durumda, elektronlar sıkıca tutulamazlar ve elektronlar arasındaki itme etkisi artar. Bu durumda, elektronlar daha çok dağılır ve Şekil 9-8 de gösterildiği gibi atom boyutu artar.

Anyonlar oluştukları atomlarından daha büyük boyuta sahiptirler. Eşit elektron sayılı anyonlarda, negatif yükü fazla olan iyon boyut olarak daha büyüktür.

Atom ve iyon yarıçapları, bazı maddelerin fiziksel özelliklerinde değişimlere neden olur. Örnek olarak camın dayanıklılığını göz önüne alalım. Normal pencere camı Na^+ ve Ca^{2+} iyonları içerir. Cam kırılgandır ve sert bir çarpma ile kolayca parçalanır. Bunu güçlendirmenin bir yolu yüzeyindeki Na^+ iyonlarının K^+ iyonu ile değiştirilmesidir. K^+ iyonları daha büyük olduğu için yüzeydeki boşlukları doldurarak kırılmaya karşı Na^+ iyonlarına göre daha dirençli olur. Sonuç olarak kırılmaya karşı dirençli cam elde etmiş oluruz.

Bir başka örnek, Al_2O_3 içindeki Al^{3+} iyonları yerine %1 oranında Cr^{3+} ekleyerek renkli camlar elde etmektir. Cr^{3+} iyonunun büyüklüğü Al^{3+} iyonundan çok farklı olmadığından (9 pm kadar daha büyük) bu katılma işlemi kolay olur. Saf aluminyum oksit renksizdir, ama az miktardaki Cr (III) iyonunun katkısı ile güzel bir kırmızı renk elde edilir. Safsızlık içeren Al_2O_3, yakut olarak bilinen değerli bir mücevherdir. Yakut ve diğer kıymetli taşlar yapay olarak elde edilebilir ve mücevher olarak ya da lazer gibi düzenekler içinde kullanılabilir. Yakutun rengi daha sonra Kesim 24 de tartışılacaktır.

Şekil 9-9, periyodik çizelge halinde düzenlenmiş olan bazı atom ve iyonların bağıl büyüklüklerini göstermekte ve bu kesimde yer alan genellemeleri özetlemektedir.



▲ ŞEKİL 9-8
Kovalent ve anyonik yarıçapların karşılaştırılması
Cl_2 molekülü içindeki iki Cl atomu birer elektron alarak iki Cl^- iyonu oluşturur.

ÖRNEK 9-2 Katyon ve Anyon Büyüklüklerinin Kıyaslanması

Kitabın ön kapağının iç yüzündeki periyodik çizelgeyi esas alarak, verilen şu iyonları büyüklüklerine göre sıralayınız: K^+, Cl^-, S^{2-} ve Ca^{2+}.

Analiz

Gözönüne alınacak temel yaklaşım, dört iyonun da *eş elektronlu* olduğu ve hepsinin de argonun elektron dağılımına sahip olmasıdır: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6$. Eş elektron sayısına sahip katyonlarda en büyük yüke sahip olan iyon en küçük boyutlu olandır.

Çözüm

Ca^{2+} iyonunun yükü büyük olduğundan K^+ iyonundan daha küçük olacaktır. K^+ iyonu, Cl^- iyonundan daha büyük çekirdek yüküne sahip olduğu için (K için Z = 19 ve Cl için Z = 17) Cl^- iyonundan daha küçüktür. Eşit elektron sayısına sahip anyonlarda yükü büyük olanın boyutu da büyüktür. O halde S^{2-} iyonu Cl^- den daha büyüktür. Bütün bu anlatılanlara göre büyüklük sırası aşağıdaki şekilde verilebilir,

$$Ca^{2+} < K^+ < Cl^- < S^{2-}$$

Değerlendirme

Eşit elektron sayısına sahip atom ve iyonların boyutlarını tek bir cümle ile özetlemek olanaklıdır: Eşit elektron sayısına sahip taneÖkler arasında, atom numarası büyük olanın boyutu küçüktür.

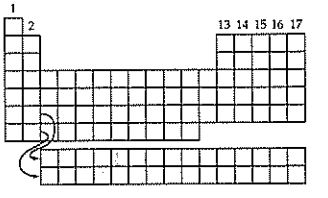
ALIŞTIRMA A: Kitabın ön kapağının iç yüzündeki periyodik çizelgeyi esas alarak, aşağıda verilen iyonları büyüklüklerine göre sıralayınız: Ti^{2+}, V^{3+}, Ca^{2+}, Br^- ve Sr^{2+}.

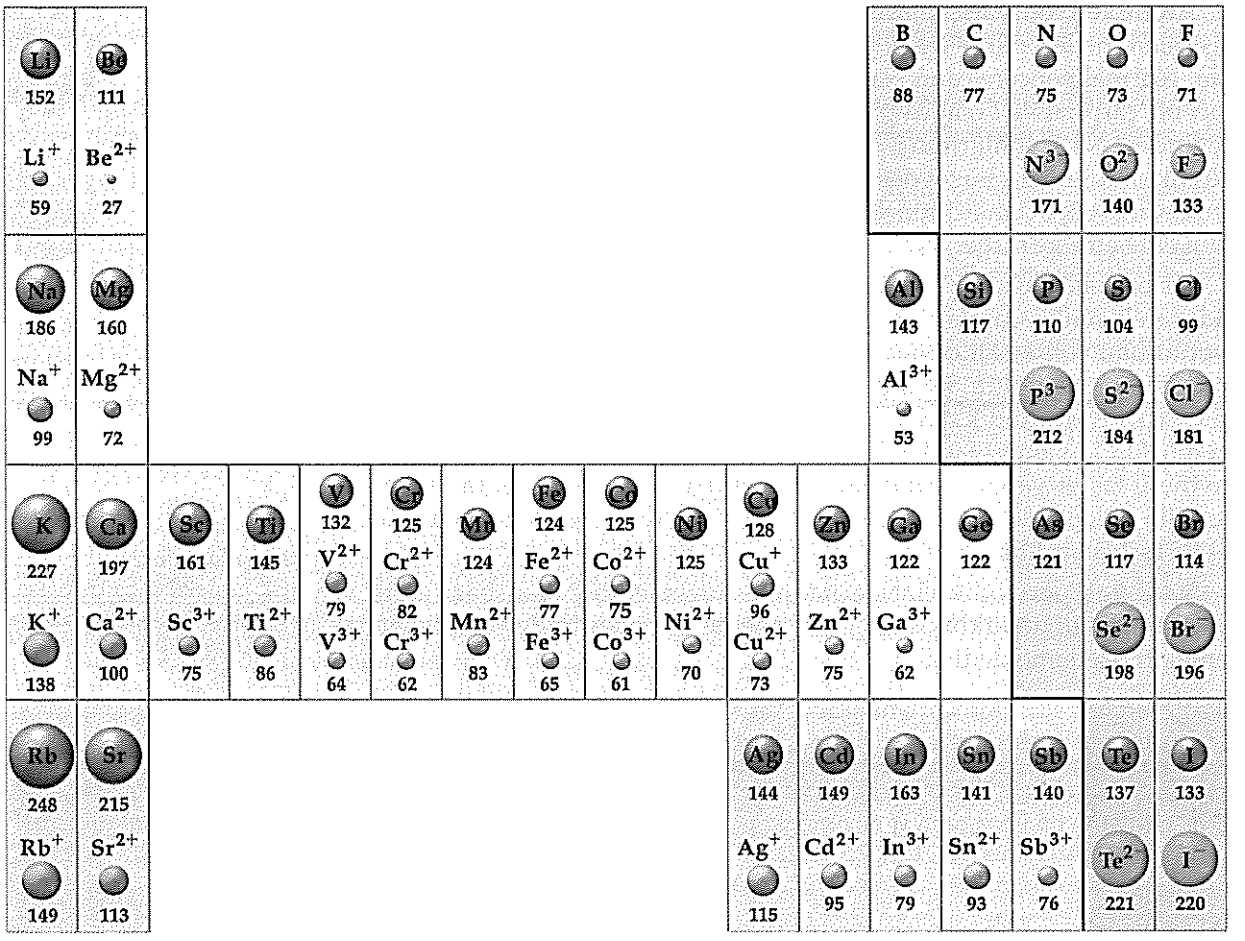
ALIŞTIRMA B: Kitabın ön kapağının iç yüzündeki periyodik çizelgeyi esas alarak, aşağıdaki atom ve iyonlardan oluşan beş türün boyut olarak sıralandığında hangisinin *orta*da yer alacağını belirleyiniz: N, Cs ve As atomları ile Mg^{2+} ve Br^- iyonları.

9-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Yan tarafta verilen boş periyodik çizelgeye aşağıda verilenleri yerleştiriniz:

(a) 13. grubun en küçük atomu
(b) 3. periyodun en küçük atomu
(c) 3. periyottaki ametallerin en büyük anyonu
(d) 13. grubun en büyük katyonu





▲ ŞEKİL 9-9
Bazı atom ve iyon yarıçaplarının karşılaştırılması
Metallerin metal yarıçapları, ametallerin tekli kovalent yarıçapları ve iyonların iyon yarıçapları, pikometre (pm) olarak verilmiştir.

9-4 İyonlaşma Enerjisi

Daha önce, metallerin elektron kaybetmesi ve bunun sonucu olarak elektron dağılımlarının değişmesi üzerinde durduk. Ancak atomlar elektronlarını kendiliğinden vermezler. Elektronlar atomun çekirdeğindeki pozitif yük tarafından çekildiğinden, bu çekim kuvvetini yenecek bir enerji gereklidir. Bir atom elektronlarını ne kadar kolay kaybederse, metal özelliği o kadar fazladır. **İyonlaşma enerjisi(*I*)** *gaz* halindeki atomlardan bir elektronu uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarıdır. Kaybedilen elektron atom üzerinde en gevşek konumda olan elektrondur.

İyonlaşma enerjileri, fotoelektron olayı deneyine dayalı olarak, düşük basınç altında bulunan gaz halindeki atomların, yeterli enerjiye sahip fotonların bombardımanı sonucu atomdan elektron fırlatılması ile ölçülür. Aşağıda iki iyonlaşma enerjisi değerleri verilmiştir.

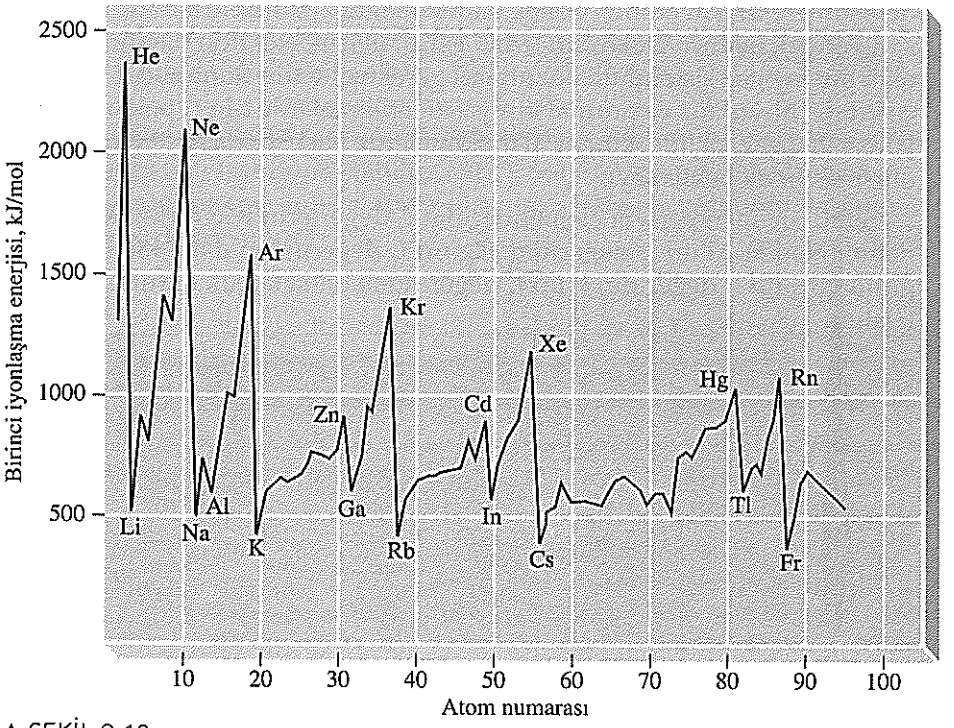
$$Mg(g) \longrightarrow Mg^{+}(g) + e^{-} \qquad I_1 = 738 \text{ kJ/mol}$$
$$Mg^{+}(g) \longrightarrow Mg^{2+}(g) + e^{-} \qquad I_2 = 1451 \text{ kJ/mol}$$

I_1 simgesi, gaz halindeki nötür bir atomdan bir elektronu uzaklaştırmak için gereken enerjiyi gösteren *birinÖ* iyonlaşma enerjisidir.* I_2 ise gaz halindeki +1 yüklü, bir iyondan ikinÖ bir elektronu uzaklaştırmak için gerekli enerjiyi simgeler ve *ikinÖ* iyonlaşma enerjisi adını alır. Daha sonraki iyonlaşma enerjileri I_3 I_4 şeklinde gösterilir. Bir sonraki iyonlaşma enerjisi her zaman için bir önceki iyonlaşma enerjisinden daha büyüktür. Örneğin, magnezyumda, bir elektronunu vermiş olan iyonun ikinÖ kez iyonlaşmasında, ayrılacak olan elektron, 2+ (Mg^{2+}) yükün çekiminden kurtulmak zorundadır. Bunun için gereken enerji, elektronun 1+ (Mg^{+}) yükten kurtulması için gereken enerjiden daha büyük olacaktır. Bu durum doğrudan Coulomb kanununun bir sonucudur. Bu kanuna göre, zıt yüklü taneÖkler arasındaki çekme kuvveti yükün büyüklüğü ile doğru orantılıdır.

Birçok elementin birinÖ iyonlaşma enerjisi (I_1) Şekil 9-10 da gösterilmiştir. Genel olarak, çekirdekten daha uzaktaki elektronu uzaklaştırmak daha kolaydır.

◀ Bir atomun değerlik ve iç kısımlarındaki elektronları arasındaki ayırımı, atomdan elektronların birer birer uzaklaştırılması için gerekli iyonlaşma enerjileri farkından anlayabiliriz. Değerlik elektronlarının iyonlaşma enerjisi iç kısımlardaki elektronların iyonlaşma enerjisinden çok küçüktür.

Atom yarıçapı arttıkça iyonlaşma enerjileri azalır.



▲ ŞEKİL 9-10
Atom numarasının fonksiyonu olarak birinci iyonlaşma enerjileri
Elektron dağılımları çok kararlı olan soy gazların iyonlaşmaları için, kendilerinden önce ve sonra gelen elementlere göre çok daha büyük enerji gerekmektedir. Grafikteki maksimum noktalar soy gazların atom numaralarına karşılık gelir. Tüm gruplarda, alkali metaller en kolay iyonlaşanlardır. Grafikte minimum noktalar alkali metallerin atom numaralarına karşılık gelmektedir.

*İyonlaşma enerjileri bazen elektron volt (eV) biriminde ifade edilir. Bir elektron volt, bir elektronun 1 volt potansiyel farkına sahip elektriksel bir alana düşmesi sonucu açığa çıkan enerjidir. Çok küçük bir enerji birimidir. Özellikle tek tek atomlar arasındaki etkileşmeleri belirtmek için kullanılır. İyonlaşma bir *mol* atom başına ele alındığında birim olarak kJ/mol biriminde terÖh edilir(1 eV/atom = 96,49 kJ/mol). Bazen, iyonlaşma enerjisi yerine *iyonlaşma potansiyeli* terimi kullanılır. Bundan başka, I_1, I_2,... büyüklükleri entalpi değişimleri, ΔH_1, ΔH_2, v.b. olarak da verilebilir.

▶ Bu genelleme baş grup elementlerine iyi uyar, ancak bazı istisnaların yer aldığı geçiş elementleri için yetersizdir.

İyonlaşma enerjlierinin atom yarıçapları arttıkça azalması, iyonlaşma enerjisine, n ve Z_{et} değerlerinin etkisini göstermektedir. İyonlaşma enerjisinin (9.4) eşitliğinden hareketle aşağıdaki bağıntı ile belirlenebileceği öngörülebilir.

$$I = R_H \times \frac{Z_{et}^2}{n^2} \qquad (9.6)$$

Periyot boyunca, değerlik kabuğunun baş kuantum sayısı, n, sabit kaldığından Z_{et} artar ve iyonlaşma enerjisi de büyür. Grupta aşağıya doğru gidildikçe, n artar ancak Z_{et} deki artış çok değildir ve iyonlaşma enerjisi küçülür. Buna göre, periyodik çizelgenin bir grubunda yukarıdan aşağıya inildikçe atomların elektron kaybetmeleri daha kolay olur (metal karakteri artar). İyonlaşma enerjilerinin azalması ve buna paralel olarak atom yarıçaplarının artması 1. grup elementleri için Çizelge 9.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 9.4 de üçüncü periyot elementlerinin iyonlaşma enerjileri verilmiştir. Küçük istisnalar dışında, periyot boyunca gidildikçe (renkli basamakları takip ederek) atom yarıçapları azalmakta, iyonlaşma enerjileri ise artmaktadır. Element daha az metal ya da daha çok ametal özelliği kazanmaktadır. Çizelge 9.4 de iyonlaşma enerjileri çizelge halinde (I_1, I_2 ve diğerleri) verilmiştir. Özellikle basamaklı kırık çizgi boyunca görülen büyük değişimlere dikkat ediniz. Örnek olarak magnezyumu ele alalım. I_3 enerjisini vererek üçüncü elektronu uzaklaştırmak için, elektron dağılımı $2s^2 2p^6$ olan bir soy gaz sisteminin bozulması gerekmektedir. Bunun için I_3, I_2 den çok daha büyüktür ve normal kimyasal tepkimelerde Mg^{+3} pek oluşturulamaz. Benzer şekilde, kimyasal tepkimelerde Na^{+2} ya da Al^{+4} iyonlarının oluşmasını da beklemeyiz.

Şimdi üçüncü periyot elementlerinin I_1 değerlerindeki farklılıklara dönelim. Neden Al'un I_1 değerinin Mg'un I_1 değerinden daha küçük olduğunu ve S'ün I_1 değerinin P'un I_1 değerinden daha küçük olduğunu araştıralım.

ÇİZELGE 9.3 Alkali Metal Elementlerinin (Grup 1) Atom yarıçapları ve Birinci İyonlaşma Enerjileri

	Atom Yarıçapı, pm	İyonlaşma Enerjisi (I_1), kJ/mol
Li	152	520,2
Na	186	495,8
K	227	418,8
Rb	248	403,0
Cs	265	375,7

ÇİZELGE 9.4 Üçüncü Periyot Elementlerinin İyonlaşma Enerjileri (kJ/mol)

	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
I_1	495,8	737,7	577,6	786,5	1,012	999,6	1,251,1	1,520,5
I_2	4,562	1,451	1,817	1,577	1,903	2,251	2,297	2,666
I_3		7,733	2,745	3,232	2,912	3,361	3,822	3,931
I_4			11,580	4,356	4,957	4,564	5,158	5,771
I_5				16,090	6,274	7,013	6,542	7,238
I_6					21,270	8,496	9,362	8,781
I_7						27,110	11,020	12,000

9-2 MERAK EDİYORSANIZ...

İyonlaşma enerjileri etkin çekirdek yükünü tahmin etmekte kullanılabilir mi?

Etkin çekirdek yükünün ilk yorumu eşitlik 9.6'da verilen iyonlaşma enerjisinin analizi ile yapılmıştır. Örneğin Li'un temel halde iyonlaşma enerjisi 519 kJ mol^{-1} dır. Eğer bunu (9.6) eşitliğinde yerine yazılarak;

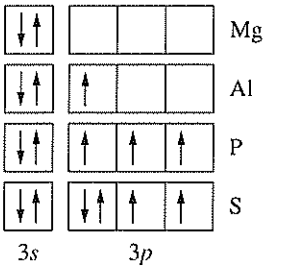
$$I_1 = 1312{,}1 \frac{Z_{et}^2}{n^2} \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$519\ \text{kJ mol}^{-1} = 1312{,}1\frac{Z_{et}^2}{2^2}\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$Z_{et} = 1{,}26 \text{ bulunur}$$

Li' un ilk uyarılmış halindeki ($1s^2\ 2p$) iyonlaşma enerjisinden, 339 kJ mol^{-1}, elde edilen Z_{et} değeri 1,02'dir. İçteki $1s^2$ elektronları $2p$ elektronlarını neredeyse tam olarak perdelediği için Z_{et} değeri 1 e çok yakındır. Oysa $2s$ elektronlarının girmesi ile Z_{et} değeri artarak 1,26 olmuştur.

Mg, Al, P ve S'ün orbital diyagramları göz önüne alındığında, Al'un I_1 değerinin Mg'unkinden *büyük* olmasını bekleriz. Ancak bu durumun tersi gözlenir. Mg, bir tane $3s$ elektronunu kaybederken Al, bir $3p$ elektronunu kaybeder. Elektron dağılımlarına göre, Mg($[Ne]3s^2$) dağılımının düşük enerjili $3s$ orbitalinden bir elektronun koparılması için gereken enerjinin, Al($[Ne]3s^23p^1$) dağılımının yarı dolu $3p$ orbitalinden bir elektron koparmak için gereken enerjiden *daha* büyük olması beklenir. S'ün I_1 değerinin P'unkinden biraz daha düşük olması farklı nedenledir. S atomunda $3p$ alt kabuğunun yarı dolu olmaması nedeniyle ($[Ne]3s^23p^4$), P'un yarı dolmuş $3p$ alt kabuğuna ($[Ne]3s^23p^3$) oranla elektronların birbirini itmesi sonucu iyonlaşmayı kolaylaştırıyor olabilir. Ayrıca S atomunun bir elektron verdiğinde yarıdolu kararalı bir yapıya ulaşması, P'de ise yarı dolu yapının bozulması sözkonusudur.



▲ Orbital diyagramı magnezyum, alüminyum, fosfor ve kükürdün değerlik elektronlarının dağılımını göstermektedir.

ÖRNEK 9-3 İyonlaşma Enerjileri Üzerine

Kitabın ön kapağının iç yüzündeki periyodik çizelgeyi esas alarak, aşağıda verilen atomların birinÖ iyonlaşma enerjilerini, beklenen büyüklüklerine göre sıralayınız, I_1 : As, Sn, Br, Sr.

Analiz

Atom yarıçapları arttıkça iyonlaşma enerjileri küçülür. Buna göre, bu dört atom yarıçapları küçülme yönünde sıralanırsa, iyonlaşma enerjilerinin büyümesi yönünde sıralanmış olurlar. En büyük atomlar periyodik çizelgenin sol alt tarafında bulunur. En küçük atomlar ise periyodik çizelgenin sağ üst tarafındadır.

Çözüm

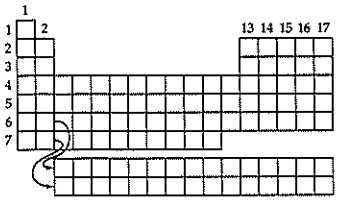
Dört atomdan biri olan Sr büyük atom grubuna en iyi uyandır. Dört atomdan hiç biri çizelgenin üst kesimine yakın değildir ancak brom en sağdadır. Buna göre iki zıt uçta olan, Sr en küçük, Br en büyük iyonlaşma enerjisine sahiptir. Kalay atomu arsenik atomundan daha büyüktür ve kalayın iyonlaşma enerjisi arseniğin iyonlaşma enerjisinden küçük olmalıdır. Böylece iyonlaşma enerjilerinin *artışına* göre sıralama şu şekilde olmalıdır: Sr < Sn < As < Br.

Değerlendirme

2. grup ile 13. grubun ve 15. grupla 16. grubun kıyaslanmasında görülen farklılıklar ihmal edilirse, genel olarak iyonlaşma enerjileri atom yarıçaplarının artmasıyla azalmaktadır.

ALIŞTIRMA A: Ön kapağın iç yüzündeki periyodik çizelgeyi esas alarak, aşağıda verilen atomları birinÖ iyonlaşma enerjilerinin büyüklüklerine göre sıralayınız, I_1 : Cl, K, Mg, S.

ALIŞTIRMA B: Ön kapağın iç yüzündeki periyodik çizelgeyi esas alarak, aşağıdaki atomları birinÖ iyonlaşma enerjilerinin büyüklüklerine göre sıralayarak *ortadaki* atomun hangisi olduğunu belirleyiniz, I_1 : Rb, As, Sb, Br, Sr.



9-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Yandaki boş periyodik çizelgeye aşağıdakileri yerleştiriniz

(a) 14. grupta en büyük birinci iyonlaşma enerjisine sahip element
(b) 4. periyotta en büyük birinci iyonlaşma enerjisine sahip element
(c) 4. periyodun *p*-blok elementleri içinde, kendinden hemen önce gelen ve kendisini takip eden elemente göre daha küçük birinci iyonlaşma enerjisine sahip element.

9-5 Elektron İlgisi

İyonlaşma enerjisi, atomdan bir elektronun uzaklaştırılması için enerji değişimidir. Diğer taraftan, atoma bir elektronun katılması ile ilişkili enerji değişimini göz önüne alalım. Flor atomuna bir elektron katılması ile ilgili termodinamik eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$F(g) + e^- \rightarrow F^-(g) \qquad \Delta H_{ei} = -328\ kJ/mol$$

Görüldüğü gibi tepkime *ekzotermik*tir ve F atomunun bir elektron kazanması ile enerji açığa çıkmaktadır. **Elektron ilgisi, *Eİ*,** gaz halindeki bir atomun bir elektron kazanması sırasındaki entalpi değişimi, ΔH_{ei}, olarak tanımlanabilir. Bu tanımlamaya göre florun elektron ilgisi negatif bir değere sahiptir.

Elektron ilgisi nötür bir atomun elektron alma eğilimi olarak tanımlanır. Diğer bir alternatif tanımlama ise, $X^-(g) \longrightarrow X(g) + e^-$ tepkimesindeki enerji değişimi, yani anyonun elektron kaybetme eğilimini yansıtmasıdır. Bu tanımlamada *Eİ* nin işareti önceki verilene göre ters olacaktır. Kimya kaynaklarında elektron ilgisi için her iki tanımlamayı da görmek mümkündür.

Bazı elektron ilgisi değerleri Şekil 9-11 de verilmiştir. Elektron ilgisi hakkında genellemeler yapmak, iyonlaşma enerjilerindeki kadar kolay değildir. Periyodik çizelgenin sağ tarafındaki küçük atomlar (örneğin 17. grup), çok büyük negatif elektron ilgisine* sahiptir. Bir grupta aşağıya

1							18
H −72.8	2	13	14	15	16	17	He >0
Li −59.6	Be >0	B −26.7	C −121.8	N +7	O −141.0	F −328.0	Ne >0
Na −52.9	Mg >0	Al −42.5	Si −133.6	P −72	S −200.4	Cl −349.0	Ar >0
K −48.4	Ca −2.37	Ga −28.9	Ge −119.0	As −78	Se −195.0	Br −324.6	Kr >0
Rb −46.9	Sr −5.03	In −28.9	Sn −107.3	Sb −103.2	Te −190.2	I −295.2	Xe >0
Cs −45.5	Ba −13.95	Tl −19.2	Pb −35.1	Bi −91.2	Po −186	At −270	Rn >0

▶ ŞEKİL 9-11
Baş grup elementlerinin elektron ilgisi
$X(g) + e^- \longrightarrow X^-(g)$ için kJ/mol olarak verilmiştir.

**Elektron ilgileri* için daha büyük ve daha küçük gibi ifadeler kullanmak pek doğru değildir. Bir elektron kazanmaya karşı yüksek "ilgiden", (F ve Cl da olduğu gibi) atomun elektron almaya şiddetli eğilim gösterdiği kastedilmiştir. *Düşük Eİ* değeri, küçük negatif değer olarak belirtilmiştir.

doğru gidildikçe elektron ilgisi değerleri, daha az negatif olma eğilimindedirler. Ancak, grup 15, 16 ve 17 nin ikinÖ periyot elemetleri (esas olarak N, O ve F) oldukça farklılık gösterirler. Bu boyutu küçük atomların dış yörüngelerindeki elektronlar, yeni katılacak olan elektrona karşı güçlü bir itme kuvveti gösterirler ve elektronun bağlanması beklediğimiz kadar sıkı olmaz.

Bazı atomların elektron alma eğilimi yoktur. Bu durum soy gazlarda görülür. Bunlarda eklenen elektronik, bir sonraki elektronik kabuğun boş *s* orbitaline girmek zorundadır. Benzer şekilde, 2. ve 12. grup elementlerinde elektronlar değerlik kabuğunun *p* alt kabuğuna, Mn gibi birkaç elementte ise değerlik kabuğunun *p* alt kabuğuna ya da yarı dolmuş 3*d* alt kabuğuna girerler.

Pozitif elektron ilgisine en iyi örnek, ametal atomları tarafından ikinÖ elektronun alınmasıdır. Burada eklenen elektron nötür bir atoma değil negatif bir iyona yaklaşmaktadır. Elektron ile iyon arasında güçlü bir itme olur ve sistemin enerjisi artar. Böylece, oksijen gibi bir element için birinÖ elektron ilgisi negatif iken, ikinÖsi pozitiftir.

$$O(g) + e^- \longrightarrow O^-(g) \qquad Eİ_1 = -141{,}0 \text{ kJ/mol}$$
$$O^-(g) + e^- \longrightarrow O^{2-}(g) \qquad Eİ_2 = +744 \text{ kJ/mol}$$

$Eİ_2$ nin yüksek pozitif değeri, *gaz* halinde O^{2-} nin oluşma şansının pek olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, O^{2-} iyonu, $MgO_{(k)}$ gibi iyonik bileşiklerde bulunabilmektedir. Ancak, bunların oluşumu, enerji açısından olabilir nitelikteki diğer işlemlerle birlikte yürümektedir.

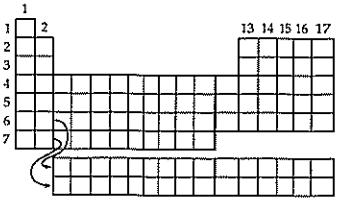
9-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Yan taraftaki boş periyodik çizelgede aşağıdaki özelliklere uygun grupları işaretleyiniz.

(a) Her periyottaki en büyük elektron ilgisi olanı

(b) Her periyottaki en küçük elektron ilgisi olanı

(c) Her periyottaki tüm pozitif elektron ilgisi olanları



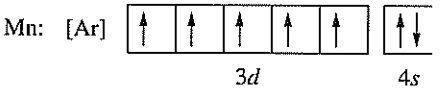
9-6 Manyetik Özellikler

Atom ve iyonların elektron dağılımlarından kaynaklanan önemli bir özellik ise manyetik alandaki davranışlarıdır. Dönen bir elektron elektriksel alanda hareket eden bir yüktür ve manyetik alanı etkiler (334. sayfadaki tartışmayı hatırlayınız). **Diyamanyetik** bir atom veya iyonda tüm elektronlar eşleşmiştir. Bu durumda eşleşmiş elektronlar birbirlerinin manyetik etkilerini yok ederler ve diamanyetik bir taneÖk, manyetik alandan çok az etkilenir. **Paramanyetik** bir atom veya iyon ise eşleşmemiş elektronlara sahiptir ve birbirlerinin manyetik etkilerini yok etmezler. Eşleşmemiş elektronlar manyetik momente sahiptirler ve dış manyetik alan tarafından çekilirler. Ne kadar çok eşleşmemiş elektron varsa, çekme o denli kuvvetli olur.

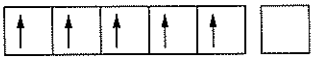
UNUTMAYINIZ

Manyetik moment etkisi, elektron spin kuantum sayısının, iki farklı değere sahip olmasına bağlıdır (eşit büyüklük ve zıt yön). Elektron spininin varlığı Stern ve Gerlach tarafından manyetik alan kullanılarak belirlenmiştir.

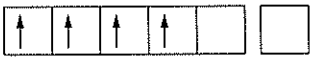
Elektron dağılımı aşağıdaki şekilde olan mangan beş tane eşleşmemiş elektrona sahip olup paramanyetiktir.



Mangan atomu iki elektron kaybederse Mn^{2+} iyonu meydana gelir. Mn^{2+} iyonuda paramanyetiktir. Bu özelliği beş tane eşleşmemiş elektrondan ileri gelir.

Mn^{2+}: [Ar] 

Üçüncü bir elektron kaybederek Mn^{3+} oluşturduğunda, elde ettiğimiz paramanyetik özellik dört elektron tarafından sağlanır. Kaybedilen üçüncü elektron eşleşmemiş 3*d* elektronlarından biridir.

Mn^{3+}: [Ar] 

ÖRNEK 9-4 Atom veya İyonların Manyetik Özelliklerinin Belirlenmesi

Aşağıdakilerden hangilerinin diyamanyetik veya paramanyetik olmasını beklersiniz?

(a) Na atomu **(b)** Mg atomu **(c)** Cl^- iyonu **(d)** Ag atomu

Analiz

Atom ya da iyonların paramanyetik olup olmadıklarını belirlemek için elektron dağılımına bakmak gerekir.

Çözüm

(a) Paramanyetik. Na atomunun Ne yapısının dışında sadece 3*s* elektronu vardır. Bu elektron eşleşmemiştir.

(b) Diyamanyetik. Mg atomu Ne yapısının dışında *iki* tane 3*s* elektronuna sahiptir ve bu elektronlar, Ne yapısındaki diğer elektronlarda olduğu gibi eşleşmiştir.

(c) Diyamanyetik. Cl^- iyonu Ar ile eşit elektrona sahiptir ve Ar'un tüm elektronları eşleşmiştir ($1s^22s^22p^63s^23p^6$).

(d) Paramanyetik. Ag atomunun gerçek elektron dağılımını bilmemize gerek yoktur. Atomun 47 elektronu vardır ve bu sayı tek olduğundan en az bir elektronun eşleşmemiş olması gerekir, (sayfa 334 de verilen Stern-Gerlach deneyini hatırlayınız).

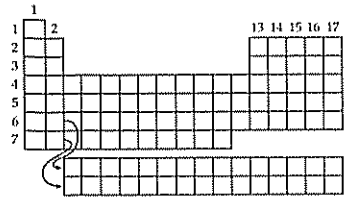
Değerlendirme

Görüldüğü gibi, bir atomun manyetik özellikleri atom numarasından hızlıca belirlenebilmektedir. Bir iyonun manyetik özellikleri ise anyon ya da katyon olmasına bağlı olarak, atom numarasından yük sayısının çıkarılması ya da toplanması ile kolay bir şekilde belirlenebilmektedir. Elde edilen son sayı tek ise atom veya iyon paramanyetiktir. Eğer son sayı çift ise, diamanyetik olabilir. Bazen çift olduğu halde diyamanyetik olmayabilir, örneğin, Ti'da olduğu gibi, bu durum elektron dağılımına bağlıdır.

ALIŞTIRMA A: Verilen atom ve iyonlardan hangileri paramanyetik ve hangileri diamanyetiktir: Zn, Cl, K^+, O^{2-} ve Al?

ALIŞTIRMA B: Hangisinin eşleşmemiş elektronu daha çoktur, Cr^{2+} ya da Cr^{3+}? Açıklayınız.

9-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME



Yan taraftaki boş periyodik çizelgeye aşağıda verilenleri yerleştiriniz.

(a) 4. periyottaki geçiş elementlerinden 3+ değerlikli diyamanyetik bir katyon.

(b) 5. periyot elementlerinden 2– değerlikli diyamanyetik bir anyon.

(c) 4. periyot geçiş elementlerinden 2+ değerlikli, paramanyetik, *d* alt kabuğu yarı dolu olan bir katyon.

9-7 Elementlerin Periyodik Özellikleri

Bölümün başındada belirttiğimiz gibi, periyodik yasa ve çizelgeyi, element ve bileşiklerin bazı atom özellikleri ile fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenmesinde kullanabiliriz.

Atom Özellikleri

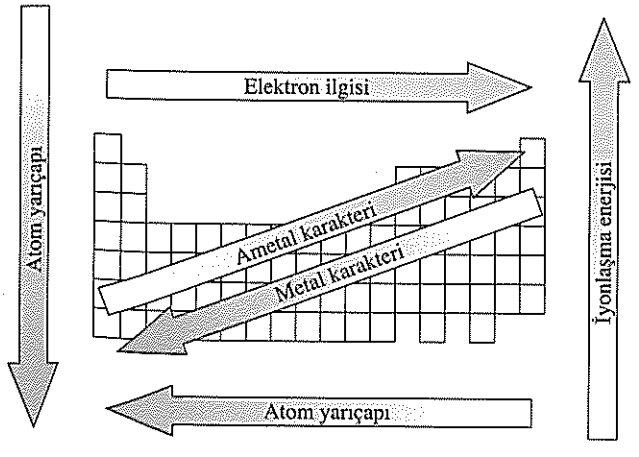
Bu bölümün başlarında elementlerin bazı atom özelliklerinin (atom yarıçapı, iyonlaşma enerjisi) grup ve periyot içinde nasıl değiştiğini öğrendik. Bu değişimlerin periyodik çizelge ile ilişkisi Şekil 9-12 de özetlenmiştir. Değişme eğilimleri bir grup içinde kolayca görülebilir: *Sr*'un atom yarıçapı *Mg*'dan daha büyüktür. Her iki element de 2. gruptadır. Genel olarak, eğilimlerin periyot içinde uygulanmasında da zorluk yoktur: P'un birinÖ iyonlaşma enerjisi Mg'unkinden daha büyüktür. Her iki element de üçüncü periyottadır. Karşılaştırdığımız elementler aynı grup ya da periyot içinde olmadığı zaman zorluklarla karşılaşabiliriz. Sr'un atom yarıçapının P'unkinden büyük olduğu kolayca görülebilir. Sr, bulunduğu grubun oldukça aşağılarındadır ve P'a göre kendi periyodunun oldukça sol tarafında bulunmaktadır. Her iki yön de atom yarıçapının artma yönüdür. Diğer taraftan Mg'un mu yoksa I'un mu daha büyük yarıçaplı olduğunu tahmin edebilmemiz kolay değildir. Mg'un konumu bulunduğu periyodun sol tarafında olup; büyük atom yarıçapına sahip olması gerekmektedir. Ancak, I'un da bulunduğu grubun aşağılarında olması, iyot için de aynı durumu ortaya koyar. Bu zorluklara karşın, Şekil 9-12 çoğu durumlarda yardımcı olabilir.

Fiziksel Özelliklerin Bir Grup İçindeki Değişimi: Çizelge 9.5 de üç tane halojen için bazı fiziksel özellikler verilmiştir (17. grup). Çizelgede brom için iki tane boş yer vardır. Bu boşluklar, Örnek 9-5 de, aşağıdaki tanım ve bazı yaklaşımlar yardımıyla doldurulacaktır:

> Periyodik çizelgede bir özelliğin değeri genel olarak aynı grup içinde yukarıdan aşağıya doğru düzenli olarak değişmektedir.

ÇİZELGE 9.5 Üç Halojenin Bazı Özellikleri (17. grup)

	Atom Numarası	Atom Kütlesi, akb	Molekül Yapısı	Erime Noktası, K	Kaynama Noktası, K
Cl	17	35,45	Cl_2	172	239
Br	35	79,90	Br_2	?	?
I	53	126,90	I_2	387	458



◀ ŞEKİL 9-12
Atom özellikleri ve periyodik çizelge - özet
Atom yarıçapı, metaller için metalik yarıçapı ve ametaller için kovalent yarıçapı kastetmektedir. İyonlaşma enerjileri birinci iyonlaşma enerjilerini göstermektedir. Metalik karakter elektron kaybetme, ametalik karakteri elektron kazanma yeteneğini gösterir.

ÖRNEK 9-5 Periyodik Çizelge Yardımıyla Fiziksel Özelliklerin Tahmini

Bromun kaynama noktasını Çizelge 9-5 de verilen değerler yardımıyla tahmin ediniz.

Analiz

Bir grupta yukarıdan aşağıya doğru gidildikçe kaynama noktalarının yükseldiğini hatırlayınız. İlk yaklaşım olarak, üst ve altındaki iki elementin kaynama noktalarının ortalamasını alarak bir tahminde bulunabilirsiniz.

Çözüm

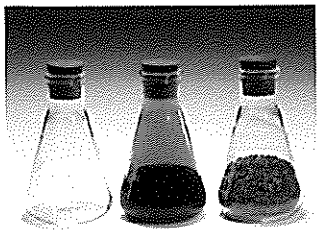
Bromun atom numarası (35), klor (17) ile iyodun (53) atom numaralarının arasındadır. Atom kütlesi de (79,90) klor ile iyodun arasındadır. Cl ve I'un ortalama atom kütlesi 81,18'dir. Bu değerlere göre bromun kaynama noktası da klor ile iyodun kaynama noktalarının arasında olmalıdır.

$$\text{kn Br}_2 \approx \frac{239\text{ K} + 458\text{ K}}{2} = 349\text{ K}$$

Değerlendirme

Bromun gözlenen kaynama noktası 332K olup, hesaplanan değere çok yakındır. Kaynama noktasını daha iyi tahmin edebilmek için, bilinen kaynama noktalarını atom kütlelerinin bir fonksiyonu olarak grafiğe geçirip, grafikten en uygun değeri bulmak gerekir.

ALIŞTIRMA A: Bromun erime noktasını tahmin ediniz.
ALIŞTIRMA B: Astatinin, At, kaynama noktasını tahmin ediniz.



▲ ŞEKİL 9-13
Üç halojen elementi
Klor sarı-yeşil bir gazdır. Brom koyu kırmızı bir sıvıdır. İyot griye yakın siyah bir katıdır.

İlk olarak, bu genellemeyi Çizelge 9.5 de gesterilmeyen florla ilgili bazı özelliklerin tahmini için uygulayalım. Flor elementinin 17. grupta kendisine en yakın komşusu klordur ve bunun kaynama noktası 239 K (–34 °C)'dir. Klor oda sıcaklığında (298 K dolayında) *gaz* halindedir. Diğer halojenlerden brom *sıvı* ve iyot *katıdır* (Şekil 9-13). Florun klordan daha düşük erime (En) ve kaynama (Kn) noktasına sahip olması beklenir. Aynı zamanda oda sıcaklığında gaz halinde olmalıdır. (F_2 için gözlenen değerler: en = 53 K ve kn =85 K).

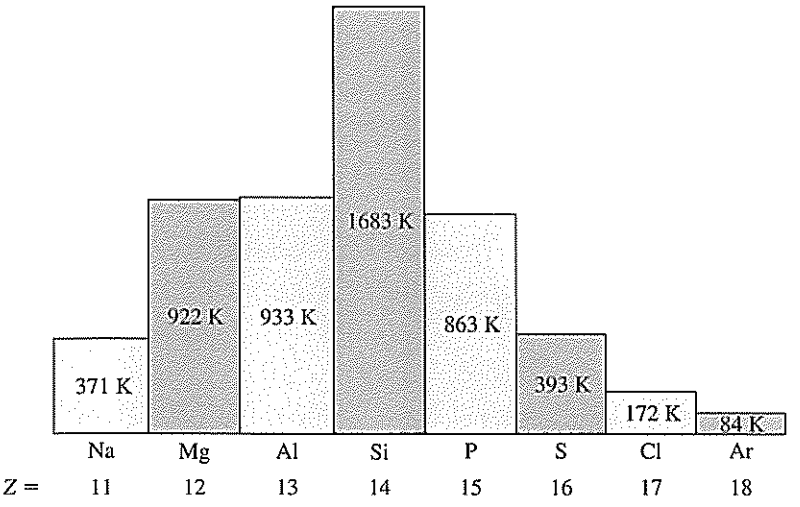
Element özelliklerinin bir grup içerisinde genel olarak düzenli değiştiği söylemi, elementler için olduğu kadar bileşikler için de geçerli olabilir. Karbon-halojen ikili bileşiklerinin ve *hidrojen halojenürlerin*, HX (burada X = F, Cl, Br ya da I) erime noktaları Çizelge 9.6 de verilmiştir. Görüldüğü gibi, karbon-halojen bileşiklerinin erime noktaları molekül kütlelerinin artmasıyla birlikte oldukça düzenli olarak artmaktadır. Erime noktası (ve kaynama noktası) ile molekül kütlesi arasındaki bu ilişki, 12. bölümde görüleceği gibi, moleküller arası kuvvetler ile açıklanabilir. HCl, HBr ve HI un erime noktalarına göre HF için –145 °C dolayında bir erime noktası beklediğimiz halde, gözlenen değer –83,6 °C dır. Öyleyse, erime noktası üzerinde, molekül kütlelerine ek olarak başka faktörlerin de etkin olması gerekmektedir. Kesim 12 de, HF için özel bir moleküller arası çekme kuvvetinin olduğunu göreceğiz. Bu kuvvetler, Çizelge 9.6 da verilen diğer bileşikler için ihmal edilebilir ya da önemsiz büyüklüktedir.

ÇİZELGE 9.5 İki Seri Bileşiğin Erime Noktaları

	Molekül Kütlesi, akb	Erime Noktası, °C
CF_4	88,0	–183,7
CCl_4	153,8	–22,9
CBr_4	331,6	90,1
CI_4	519,6	171
HF	20,0	–83,6
HCl	36,5	–114,2
HBr	80,9	–86,8
HI	127,9	–50,8

Fiziksel Özelliklerin Bir Periyot Boyunca Değişimi Bir periyot boyunca birkaç özellik düzenli olarak değişir. Bu özelliklerden ikisi, ısı ve elektrik iletme özelliğidir. Üçüncü periyot elementlerinden Na, Mg ve Al metalleri, ısı ve elektriği iyi iletme özelliğine sahiptirler. Bir yarı metal olan Si, ısı ve elektriği orta derecede iletir. Ametaller; P, S, Cl ve Ar zayıf ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir.

Bazı hallerde bir özelliğin değişimi periyot içinde ters yönde de olabilir (hidrojen halojenürlerin erime noktalarının grup içinde ters yönde değiştiği gibi). Örneğin, Şekil 9-14 de çubuk grafiklerle gösterilen, üçüncü periyot elementlerinin erime noktalarını göz önüne alalım. Erime, katı kris-



◀ ŞEKİL 9-14
Üçüncü Periyot Elementlerinin Erime Noktaları
Bazen bir özelliğin periyot boyunca değişimi yanda gösterildiği gibi ters yönde olabilmektedir.

tal içinde bulunan atom ya da moleküllerin düzenli dizilişlerinin dağılmasıdır. Erimenin olması için gereken ısı enerjisi miktarı ve buna bağlı olarak erime noktasının sıcaklığı, katı içinde atom ya da moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlıdır. Na, Mg ve Al metallerinde bağlar *metalik bağlar*dır. Bu bağların kuvvetleri, yaklaşık olarak belirtmek gerekirse, bağlanmaya katılan elektronların sayısı ile artar. Na metali, üçüncü periyot metalleri içinde en düşük erime noktasına (371 K) sahip olandır. Silisyumda atomlar arasındaki kuvvetler güçlü *kovalent bağlar*dır ve katı kristalin bozunmasını zorlaştırır. Silisyum, üçüncü periyot elementleri içinde en yüksek erime noktasına sahip olandır (1683 K). Fosfor, kükürt ve klor belirli yapıdaki moleküller halindedir (P_4, S_8, Cl_2). Molekül içindeki atomlar arası bağlar kuvvetlidir, ancak *moleküller arası kuvvetler* (moleküller arası çekim kuvvetleri) periyot boyunca gittikçe zayıflar, ve erime noktaları azalır. Argon atomları molekül oluşturmaz ve katı argon içinde Ar atomları arasındaki kuvvetler zayıftır. Argonun erime noktası tüm periyot içinde en düşük olanıdır (84K). Sertlik özelliği de katı içindeki atomlar ve *moleküller arası kuvvetler*e bağlıdır. Böylece, üçüncü periyotta bulunan katı elementlerin sertliği erime noktaları ile aynı yönde değişir. Bir metalin diğerini çizme ya da aşındırma özelliği bakımından 10 luk bir eşel ele alınırsa, bu eşelde sodyum, 0,5; magnezyum, 2; alüminyum, 3; silisyum, 7; fosfor ve kükürt 1-2 sertliğe sahiptir. Bu periyotta en sert element silisyumdur.

◀ Herhangi bir özelliğin değişim yönünü belirlemek için grafiklerle göstermek faydalı olmaktadır.

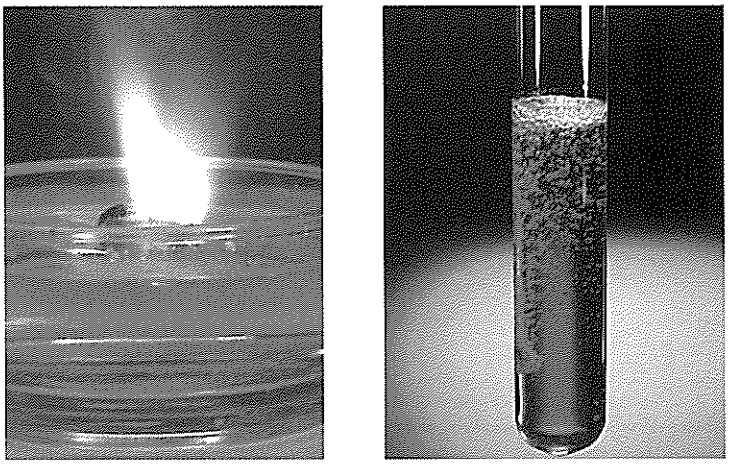
◀ Metalik bağlar Kesim 11-7 de açıklanmıştır. Silisyum benzeri maddelerdeki kovalent bağlar Kesim 12-7 de tartışılmış olup, moleküller arası kuvvetler Bölüm 12'de incelenecektir.

1. ve 2. Grup Metallerin İndirgeme Eğilimleri 5. Bölümde öğrendiğimiz gibi, indirgen bir madde, bir indirgeme yarı tepkimesi sağlayan maddedir. İndirgen maddenin kendisi elektron kaybederek yükseltgenir. Aşağıdaki tepkimelerde, 1. veya 2. grup elementi olan M bir indirgendir. H_2O ise indirgenen maddedir.

$$2\,M(k) + 2\,H_2O(s) \longrightarrow 2\,M^+(suda) + 2\,OH^-(suda) + H_2(g) \qquad (M = 1.\text{ grup metali})$$

$$M(k) + 2\,H_2O(s) \longrightarrow M^{2+}(suda) + 2\,OH^-(suda) + H_2(g) \qquad (M = Ca, Sr, Ba \text{ ya da } Ra)$$

İlk öngörü olarak, bir metalden elektron koparılması için az enerji gerekmesi (düşük iyonlaşma enerjisi) halinde onun daha iyi bir indirgen olacağını düşünebiliriz. Bu durumda metal su ile tepkime vermeye daha istekli olacaktır. Örneğin, potasyum dördüncü periyotta kendisinden sonra gelen elemente oranla, yani kalsiyuma göre, daha düşük iyonlaşma enerjisine sahiptir (potasyum için $I_1 = 419$ kJ/mol, kalsiyum için $I_1 = 590$, $I_2 = 1145$ kJ/mol). Akla yatkın olan, potasyumun su ile tepkime vermeye kalsiyumdan daha istekli olduğudur. Bu gerçekten de böyledir (Şekil 9-15). Mg ve Be dışındaki diğer toprak alkali metalleri soğuk su ile tepkime verdiği halde, bu iki



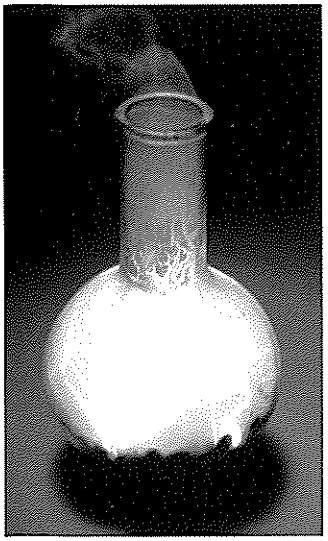
(a) (b)

▶ ŞEKİL 9-15
Potasyum ve kalsiyumun su ile tepkimelerinin karşılaştırılması
(a) Potasyum, (1. grup metali) su ile hızlı tepkime verir, çıkan hidrojen gazı alev alır ve patlayarak yanar. Metalin sudan daha az yoğun olduğuna dikkat ediniz. **(b)** Kalsiyum (2. grup metali) potasyuma oranla daha yavaş tepkime verir. Kalsiyum sudan daha yoğundur. Bir asit-baz indikatörü olan fenolftaleinin pembe rengi, tepkimede OH^- iyonlarının oluştuğunu gösterir.

metal soğuk su ile tepkime vermez. Böyle bir davranış, bu iki metalin yüksek iyonlaşma enerjileri ile açıklanabilir, (Mg: I_1= 738, I_2= 1451 kJ/mol; Be: I_1= 900, I_2= 1757 kJ/mol).

1. ve 2. grup metallerinin tepkimeye yatkınlıklarının bu şekilde, sadece iyonlaşma enerjilerine bağlanması aslında olayı aşırı basitleştirilmektir. İyonlaşma enerjileri arasındaki fark büyük olduğunda yalnızca bu etmeni göz önüne alabiliriz. Diğer taraftan iyonlaşma enerjileri arasındaki fark küçük olduğunda, kıyaslama yapılırken, daha sonraki bölümlerde üzerinde duracağımız gibi, diğer etmenlerin de dikkate alınması gerekir.

Halojenlerin Yükseltgeme Eğilimleri (17. grup): Yükseltgen bir madde bir yükseltgenme yarı tepkimesinde kaybedilen elektronları alır ve indirgenir. Başka bir deyişle yükseltgen madde kendisi elektron olarak indirgenir. Bu bölümde üzerinde durulan ve atom özelliklerinden birisi olan "elektron ilgisi" elektron kazanılması ile ilgilidir. Elektron almaya karşı kuvvetli eğilim gösteren bir atomun (büyük *negatif* elektron ilgisi), kolay elektron kaybedebilen düşük iyonlaşma enerjili atomlardan, yani metallerden, elektronları kolayca koparıp almasını beklemeliyiz. Buna göre, etkin metallerin etkin ametallerle iyonik bileşikler oluşturması daha kolay anlaşılabilir. Eğer M bir 1. grup metali ve X bir 17. grup ametali (halojen) ise, bu elektron değişimi M^+ ve X^- iyonlarının oluşumunu sağlar. Bazı durumda tepkime özellikle çok şiddetli ve etkindir (Şekil 9-1).



▲ ŞEKİL 9-16
Sodyum metali ve klor gazının tepkimesi
Cam balon içinde gerçekleşen Na(k) ile Cl_2(g) arasındaki tepkime ekzotermiktir. Oluşan ürün, iyonik bir katı olan NaCl(k)'dür.

$$2\,M + X_2 \longrightarrow 2\,MX \qquad [\text{ör., } 2\,Na(k) + Cl_2(g) \longrightarrow 2\,NaCl(k)]$$

Halojenlerin katıldığı bir diğer ilginç yükseltgenme-indirgenme tepkimesi, *yer değiştirme tepkimesidir*. Biri molekül halinde ve diğeri iyon halinde olan iki halojen, aşağıda verilen tepkimede olduğu gibi yer değiştirirerek tepkime verirler (Şekil 9-17).

$$Cl_2(g) + 2\,I^-(suda) \longrightarrow I_2(suda) + 2\,Cl^-(suda)$$

Bu tepkimeyi, üzerinde fazladan elektron olan I ile (yani I^-) Cl atomları arasındaki bir yarışma gibi düşünebiliriz. Yarışmayı, daha elektronegatif olan klor atomları kazanır.(Aslında bu açıklama, sadece anlamayı kolaylaştırmak için yapılan basitleştirilmiş bir açıklamadır, çünkü elektron ilgisi yalnızca gaz hali için geçerli olup çözeltideki atom ve iyonlar için geçerli değildir.) Yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı, aşağıda gösterilen tepkimenin yürümeyeceği daha kolay anlaşılabilir.

$$Br_2(s) + Cl^-(suda) \longrightarrow \text{tepkime olmaz}$$

Bir önceki paragraftakine benzer öngörüler Cl_2, Br_2 ve I_2 için geçerlidir, ancak F_2 için geçerli değildir. F_2, elektron ilgisi bakımından tüm kimyasal maddeler içinde en kuvvetli yükseltgendir. Ancak F_2'un gözlenen yükseltgen özelliğini, elektron ilgisi ile açıklamak yeterli değildir.

Element Oksitlerinin Asit-Baz Özellikleri: Li_2O gibi bazı metal oksitleri su ile tepkimeye girerek metal hidroksitlerini oluştururlar.

$$\underset{\text{Bazik oksit}}{Li_2O(k)} + H_2O(s) \longrightarrow \underset{\text{Lityum hidroksit}}{2\,Li^+(suda) + 2\,OH^-(suda)}$$

Bu metal oksitlere *bazik oksitler* veya *baz anhidritleri* denir. Anhidrit terimi "susuz" demektir. Su içerisinde olmayan bir baza su eklendiğinde baz çözeltisi oluşur. Örneğin, Li_2O ve BaO baz anhidritleri, su ile tepkimeye girdiğinde LiOH ve $Ba(OH)_2$ bazları meydana gelir. Bir grupta yukarıdan aşağıya doğru gidildikçe elementler daha metalik ve oksitleri daha bazik özellik kazanır.

Bazı ametal oksitler su ile tepkimeye girerek asidik çözelti oluştururlar. Bunlara *asidik oksitler* ya da *asit anhidritleri* denir. $SO_2(g)$ su ile tepkimeye girerek zayıf bir asit olan H_2SO_3 oluşturur.

$$\underset{\text{asidik oksit}}{SO_2(g)} + H_2O(s) \longrightarrow \underset{\text{sülfüröz asit}}{H_2SO_3(suda)}$$

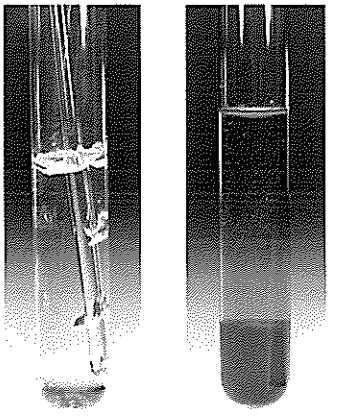
Şimdi, üçüncü periyot elementlerinin oksitlerinin asit-baz özelliklerini inceleyelim. Bu periyodun sol tarafındaki elementlerin metal oksitlerinin bazik özellik gösterdiğini, sağ tarafındaki elementlerin ametal oksitlerin de asidik özellik gösterdiğini söyleyebiliriz. Ancak, bu özellik nerede ve nasıl değişir? Na_2O ve MgO suda bazik çözelti verir. Cl_2O, SO_2 ve P_4O_{10} asidik çözeltiler oluştururlar. SiO_2 (kuartz) suda çözünmez, ancak kuvvetli bazik çözeltilerde az miktarda çözünerek silikatları oluştururlar (bazik çözeltilerde CO_2 yardımıyla karbonatların oluşmasına benzer şekilde). Bu nedenle SiO_2 yi bir asidik oksit olarak kabul edebiliriz.

Aluminyum, ısı ve elektriği iyi iletir ve fiziksel özellikleri bakımından da metaliktir. Diğer taraftan, Al_2O_3, hem asit olarak hem de baz olarak davranabilir. Bu tür özelliği olan oksitlere **amfoter** oksitler denir (Yunanca *"amphos"* kelimesinden gelmektedir ve *"her ikisi de"* anlamındadır). Al_2O_3 suda çözünmez, ancak amfoter özelliğinden dolayı hem asit, hem de baz çözünebilir.

$$\underset{\text{Baz}}{Al_2O_3(k)} + 6\,HCl(suda) \longrightarrow \underset{\text{Asit}}{2\,AlCl_3(suda)} + 3\,H_2O(s)$$

$$\underset{\text{Asit}}{Al_2O_3(k)} + 2\,NaOH(suda) + 3\,H_2O(s) \longrightarrow \underset{\text{Sodyum aluminat}}{2\,Na[Al(OH)_4](suda)}$$
$$\text{Baz}$$

Al_2O_3 ün amfoterliği, üçüncü periyot elementlerinin bazik oksitlerden asidik oksitlere dönüşebileceğinin bir işaretidir. Şekil 9-18 de, baş grup elementlerinin oksitlerinin asit/baz özellikleri özetlenmiştir.



(a) (b)

▲ **ŞEKİL 9-17**
I^-(suda) iyonunun Cl_2(g) ile yer değiştirmesi
(a) Renksiz Cl_2(g) gazı, içinde seyreltik I^-(suda) bulunan bir tüpe gönderilir. **(b)** oluşan I_2, içindeki çözünürlüğü çok olan CCl_4(s) içine özütlenir (pembe tabaka).

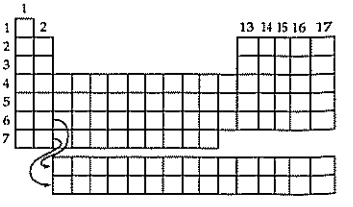
1	2	13	14	15	16	17
Li	Be	B	C	N	O	F
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At

▲ ŞEKİL 9-18
s- ve p-blok elementlerinin asit, baz ve amfoter oksitleri
Asit oksitler kırmızı, baz oksitler mavi ve amfoter oksitler gri renkte gösterilmiştir.

9-7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Yanda bulunan boş periyodik çizelge içine aşağıdakileri yerleştiriniz.

(a) 13. grupta en bazik oksiti oluşturması beklenen element
(b) 15. grupta en asidik oksiti oluşturması beklenen element
(c) 5. periyotta en bazik oksiti oluşturması beklenen element
(d) 5. periyotta en asidik oksiti oluşturması beklenen element
(e) 3. periyotta amfoter özellik gösteren element



MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Periyodik çizelgedeki yerine göre cıva, erime noktası 300 °C'ın üzerinde olan bir katı olmalıdır. Ancak oda sıcaklığında sıvıdır. Cıvanın diğer metallerden farklı olarak neden sıvı olduğu, tartışması için bakınız: Focus On feature for Chapter 9, The Periodic Law and Mercury" on the MasteringChemistry site.

Özet

9-1 Elementlerin Sınıflandırılması: Periyodik Yasa ve Periyodik Çizelge—Elementlerin periyodik çizelgesinin deneysel temeli **periyodik yasadır**: Elementler, atom numaralarının artan sırasına göre sıralandığında bazı özellikleri tekrar eder. Bu özelliklerinin kuramsal temeli, element atomlarının elektronik yapılarıdır. Periyodik çizelgede aynı grupta bulunan atomlar benzer elektronik yapıya sahiptir.

9-2 Metaller, Ametaller ve İyonları—Periyodik çizelgede elementler, *metaller*, *ametaller* ve *yarı metaller* olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. **Yarı metallerin** bazı özellikleri metallere benzerken bazı özellikleri ametallere benzer. Metal olmayanlar kendi içinde ikiye ayrılır ve bunların bir bölümü asal gazlar olup geriye kalanlar ise baş grup ametaller grubunu oluşturur. Metaller de kendi içinde baş grup metaller ve geçiş metalleri olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

9-3 Atom ve İyonların Büyüklüğü—Atom yarıçapları, **kovalent yarıçap, metalik yarıçap** ve **van der Waals yarıçaplarını** kapsar (Şekil 9-3). Genel olarak, atom yarıçapları periyodik çizelgede periyot boyunca küçülür ve bir grup içinde yukarıdan aşağıya doğru büyür (Şekil 9-4 ve 9-9). Bu değişim periyot boyunca ve yukarıdan aşağıya doğru **etkin çekirdek yükünün, Z_{et}** değişmesinin bir yansımasıdır (eşitlik 9-3). Pozitif iyonların **iyon yarıçapı** nötür atomlardan daha küçüktür. Negatif iyonların yarıçapı ise oluştukları atomlardan daha büyüktür (Şekil 9-7 ve 9-8). İyon yarıçaplarının periyodik çizelgedeki değişimleri de atomlarınkine benzer. Atomlar ya da iyonlar aynı elektron sayısına sahip olduklarında bunlar **eş elektronlu** olarak adlandırılır. Eş elektronlu tanecikler kıyaslandığında, yükü daha negatif olan iyonun yarıçapı, diğer iyonların ve atomların yarıçapından daha büyüktür.

9-4 İyonlaşma Enerjisi—**İyonlaşma enerjisi (*I*)**, Z_{et} değişiminin belirlediği, gözlenen periyodik ilişkileri gösterir. Yani, iyonlaşma enerjisi periyot boyunca artarken, grupta yukarıdan aşağıya doğru azalır (Şekil 9-10, Çizelge 9-3 ve 9-4).

9-5 Elektron İlgisi—**Elektron ilgisi (*Eİ*)**, gaz halindeki bir atoma bir elektron katılması ile meydana gelen enerji değişimidir. Elektron ilgisi kesin bir eğilimi göstermez (Şekil 9-11).

9-6 Manyetik Özellikler—Atom ya da iyonların manyetik özellikleri, eşleşmemiş elektronların olup olmamasına bağlıdır. **Paramanyetik** atom ya da iyonlar bir ya da daha çok eşleşmemiş elektrona sahiptir. **Diamanyetik** atom ya da iyonlarda elektronlar eşleşmiştir.

9-7 Elementlerin Periyodik Özellikleri—Atomların metal, ametal ya da yarı metal özellikleri atom özellikleri ile ilişkilidir. Genel olarak, atom yarıçapı büyük ve iyonlaşma enerjisi küçük olan elementler, metalleri oluştururlar. Küçük atom yarıçapı, büyük iyonlaşma enerjisi ve yüksek elektron ilgisi olan elementler, ametallerdir. Yarı metaller periyodik çizelgede ilk olarak üçüncü sırada görülür (Si ile başlar) ve asit – baz özellikleri belirgin değildir. Metaller genel olarak bazik çözelti veren oksitler oluştururken, ametal oksitler asit çözeltisi oluştururlar. Ametal oksitler, su ilavesi ile asidik özellik gösterdiklerinden **anhidrit** olarak adlandırılırlar. Periyodik çizelgede sadece asit ve baz özelliği gösteren element oksitlerinin arasında, bazı metal ve yarı metaller hem asit ve hem de baz olarak etkidiklerinden bunlar **amfoterdirler** (Şekil 9-18).

Pekiştirici Örnek

Bir seri eş elektronlu atom ve iyonların iyonlaşma enerjileri kıyaslandığında, bazı ilginç bağıntılar görülebilmektedir. Örneğin, Li, Be^{+}, B^{2+}, C^{3+}, N^{4+}, O^{5+} ve F^{6+} serisinin iyonlaşma enerjilerinin (kJ mol^{-1} olarak) karekökleri, bunların atom numaralarına (Z) karşı grafiğe geçirilirse, çizgisel bir değişim gözlenir. Benzer grafik, Na, Mg^{+}, Al^{2+}, Si^{3+}, P^{4+}, S^{5+} ve Cl^{6+} serisi için de çizgiseldir. Grafik 387. sayfada gösterilmiştir.

Bu iki çizgisel değişimin bağıntıları aşağıda verilmiştir.

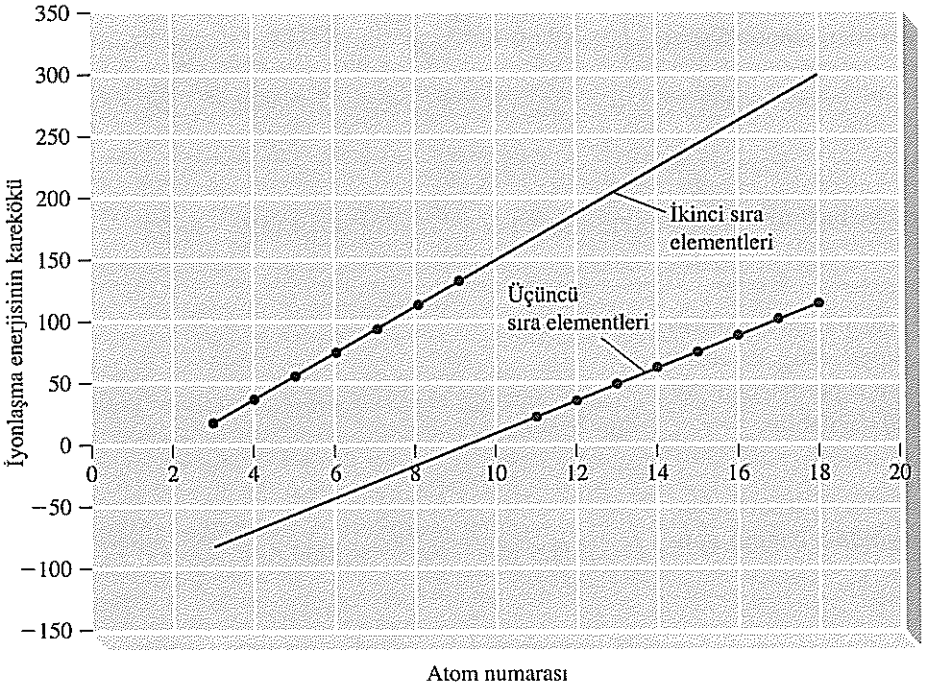
$$\textit{İkinÖ sıra elementleri: } \sqrt{I} = 18{,}4\ Z - 32{,}0 \qquad \textbf{(9-7)}$$

$$\textit{Üçüncü sıra elementleri: } \sqrt{I} = 13{,}5\ Z - 124 \qquad \textbf{(9-8)}$$

Bu bağıntının kaynağını ve yukarıdaki sayısal katsayıların farklılığını açıklayınız.

Analiz

İlk önce dikkat edilmesi gereken elektron dağılımlarıdır ve ikinÖ sıradaki atom ve iyonların elektron dağılımları $1s^2 2s^1$ olup helyum yapısından ($1s^2$) sonra tek elektron ($2s^1$) içerir. Benzer şekilde, üçüncü sıradaki atom ve iyonların elektron dağılımı da $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ şeklinde olup neon yapısı ($1s^2 2s^2 2p^6$) dışında tek elektron ($3s^1$) vardır.



◀ İkinci sıra elementleri (siyah çizgi) ve üçüncü sıra elementleri (kırmızı çizgi) için atom numaraları ile $\sqrt{I}$ değişimleri.

Her iki serinin atom ve iyonlarında, iç yörünge elektronları, tek değerlik elektronları ile çekirdek arasında bir perdeleme yapmaktadır. Bu durum Bohr atom modelini hatırlatır. Bir yaklaşım olarak, hidrojen benzeri atom ve iyonların enerji düzeylerinin belirlenmesi için verilen bağıntı (8.9) bu örnekler için de kullanılabilir. Özellikle değerlik elektronlarının koparılması için gereken enerji, yani iyonlaşma enerjilerinin türetilmesi için bu eşitliğin (8.9) kullanılması mümkündür. Bu eşitlikler türetildiğinde, iki doğrusal grafikle kıyaslanabilir.

Çözüm

(8.9) eşitliğinde $Z = Z_{et}$ alınarak (9.4) eşitliği oluşturulur ve bu eşitlikte $R_H = 2{,}178\times10^{-18}$ J kullanılarak yandaki eşitlik yazılabilir.

$$E_n = -2{,}178 \times 10^{-18}\left(\frac{Z_{et}^2}{n^2}\right)\text{J}$$

(8.9) ve (9.4) bağıntılarında E_n birimi J atom^{-1} olup verilen iki doğrusal bağıntıyla ilişkilendirilmesi için, I nin birimin *kJ mol*$^{-1}$ e dönüştürülmesi gerekir.

$$E_n = -2{,}178 \times 10^{-18}\frac{\text{J}}{\text{atom}} \times 6{,}022 \times 10^{23}\frac{\text{atom}}{\text{mol}} \times \frac{Z_{et}^2}{n^2}$$
$$= -1{,}3116 \times 10^{6}\frac{Z_{et}^2}{n^2}\text{J mol}^{-1} \times \frac{1\,\text{kJ}}{1000\,\text{J}}$$

Hidrojen benzeri örneklerde, n temel kuantum sayılarına sahip elektronun orbitalden ayrılması için gereken enerji, yani iyonlaşma enerjisi yanda görüldüğü gibi *eksi* işaretlidir.

$$I = -E_n = 1311{,}6 \times \frac{Z_{et}^2}{n^2}\text{kJ mol}^{-1} \qquad \textbf{(9,9)}$$

(9.9) eşitliği iyonlaşma enerjisinin (I), Z^2_{et} ile (9.7) ve (9.8) eşitlikleri de $\sqrt{I}$ nin Z ile doğrusal değiştiğini göstermektedir. Bu da doğru yolda olduğumuzun göstergesidir. Ancak burada tek bir elektronun iç elektronlar tarafından çekirdeğe karşı perdelendiğinin düşünüldüğünü not etmek gerekir.

$$I = -E_n = 1311{,}6 \times \frac{Z_{et}^2}{n^2}\text{kJ mol}^{-1} \qquad \textbf{(9.9)}$$

Öncelikle ikinÖ seriyi (Li, Be^+, B^{2+}, C^{3+}, N^{4+}, O^{5+} ve F^{6+}) ele alacak olursak, hepsinin de $1s^22s^1$ yapısında olduğu görülür. Eğer sadece $1s^2$ elektronlarının $2s^1$ elektronlarını perdelediği düşünülürse, bu seride Z_{et} değeri $Z - 2$ olmalıdır. Böylece, (9.9) eşitliğinde

$Z_{et} = Z - 2$ yazılarak $n = 2$ için $2s$ orbitalinden bir elektronun ayrılması için gereken enerji yandaki gibi bulunur.

$$I = 1311{,}6 \times \frac{(Z-2)^2}{n^2} = 1311{,}6 \times \frac{(Z-2)^2}{2^2}$$

İki tarafın karekökü alınırsa yandaki bağıntı elde edilir.

$$\sqrt{I} = 36{,}22 \times \left(\frac{Z-2}{2}\right) = 18{,}11Z - 36{,}22 \qquad (9.10)$$

Şimdi de üçüncü periyottakileri ele alalım. Bu kez eş elektronlu türlerin serisi $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ olup, iç elektronlar tarafından çekirdeğe karşı perdelenen $3s^1$ elektronudur. Böylece $Z_{et} = Z - 10$ yazılabilir.

$$Z_{et} = Z - 10$$

Yukarıda yapılana benzer işlemlerle $n = 3$ seviyesinden iyonlaşma için $\sqrt{I}$ ile Z arasındaki bağıntı yandaki gibi yazılabilir.

$$I = 1311{,}6 \times \frac{(Z-10)^2}{n^2} = 1311{,}6 \times \frac{(Z-10)^2}{3^2}$$

$$\sqrt{I} = 36{,}22 \times \left(\frac{Z-10}{3}\right) = 12{,}07Z - 120{,}7 \qquad (9.11)$$

Değerlendirme

(9.10) ve (9.11) bağıntıları karşılaştırılırsa, eğim farkının (Z nin katsayısı), iyonlaşmanın gerçekleştiği baş kuantum sayılarının farklılığından kaynaklandığı görülür. Doğruların kaymasının nedeni ise hem iyonlaşmanın olduğu baş kuantum sayıları hem de değerlik kabuğu elektronlarının perdelenmesidir.

İkinÖ sıra elementleri için, Bohr modeli modifiye edilerek oluşturulan (9.10) eşitliğinin, deneysel sonuçlara göre verilen (9.7) eşitliği ile son derece uyumlu olduğu görülmektedir.

Diğer taraftan (9.11) eşitliği ile verilen eğilim üçüncü sıradaki elementler için genel olarak doğru olmakla birlikte, sayısal sabitler yeterince uyumlu değildir. İç elektronların perdeleme etkisi dikkate alınırken homojen bir perdeleme düşünülüp iç elektronların farklı karakterleri göz ardı edildiğinden bu sonuç zaten beklenmelidir. Elektronların bu karmaşık etkileşimleri doğru olarak belirlenmedikçe verilen basit modelin tam sonuç vermesi zaten beklenmemelidir.

ALIŞTIRMA A: Fransiyum (Z = 87) oldukça az bulunan, radyoaktif bir elementtir ve aktinyumun (Z = 89) alfa taneÖği bozunması ile oluşur. Fransiyum doğal uranyum minerali içinde bulunur. Ancak, tahminlere göre, yer kabuğunun 1km kalınlığı içinde sadece 15g'dan biraz fazla fransiyum bulunmaktadır. Fransiyumun sadece birkaç özelliği ölçülmüştür, ancak bazı özellikleri de periyodik çizelgedeki konumundan anlaşılmaktadır. Fransiyumun erime noktasını, yoğunluğunu ve atom (metal) yarıçapını tahmin ediniz.

ALIŞTIRMA B: Olası, element 168'in, yeterli miktarda sentezlenip sentezlenemeyeceğini ve 298 K ve 1 bar basınç altında "soy sıvı" olup olamayacağını tartışınız. Bu amaçla aşağıdaki çizelgede verilen değerlerden yararlanılabilir. 168 numaralı element 298 K ve 1 bar da "soy katı" olabilir mi? 168 numaralı elementin olası elektron dağılımını *spdf* işaretleme sisteminde gösteriniz.

Element	Atomik kütle, akb	en, K	kn, K
Argon	39,948	83,95	87,45
Helyum	4,0026		4,25
Kripton	83,80	116,5	120,9
Neon	20,179	24,48	27,3
Radon	222	202	211,4
Ksenon	131,29	161,3	166,1

MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, bu konudaki ilave çalışma sorularına ulaşabilirsiniz

Alıştırmalar

Periyodik Yasa

1. Şekil 9-1 deki veriler ve (9.1) eşitliğini kullanarak, son zamanlarda keşfedilen 114 numaralı elementin yoğunluğunu tahmin ediniz. Kütle numarası 298 alınabilir.
2. Yoğunluğu 6,145 g/cm^3 olan lantanın (Z = 57) yeni keşfedilen bir element olduğunu varsayarak mol kütlesini tahmin ediniz.
3. Aşağıdaki elementlerin 298 K de standart haldeki yoğunlukları (g/cm^3) verilmiştir. Bu elementlerin yoğunluklarının periyodik bir özelliğe sahip olduğunu gösteriniz: Al: 2,699; Ar: 0,0018: As, 5,778; Br: 3,100; Ca: 1,550; Cl: 0,0032; Ga: 5,904; Ge: 5,323; Kr: 0,0037; Mg: 1,738; P: 1,823; K: 0,856; Se: 4,285; Si: 2,336; Na: 0,968; S: 2,069.
4. Aşağıdaki erime noktaları Celsius (°C) eşelindedir. Erime noktasının, bu elementlerin periyodik bir özelliği olduğunu gösteriniz: Al: 660; Ar: –189; Be: 1278; B: 2300; C: 3350; Cl: –101; F: –220; Li: 179; Mg: 651; Ne: –249; N: –210; O: –218; P: 590; Si: 1410; Na: 98; S: 119.

Periyodik Çizelge

5. Mendeleev'in periyodik çizelgesi, soy gazların sonradan eklendiği gibi, yeni bir grup oluşturma olasılığına engel değildir. Moseley'in çalışması ise bu olasılığı ortadan kaldırmaktadır. Aralarındaki farkı açıklayınız.
6. Periyodik çizelgenin periyotları neden aynı sayıda element içermezler? Açıklayınız.
7. YedinÖ periyodun 32 elemente kadar uzatıldığını varsayarsanız, radondan (Rn) sonra gelen soy gazın ve fransiyum (Fr) dan sonra gelen alkali metalin atom numarası ne olmalıdır. Bunların yaklaşık atom kütlelerinin ne olmasını beklersiniz?
8. Periyodik çizelgenin tamamlanmamış olan yedinÖ periyodunu göz önüne alınız. Aşağıdaki elementlerin atom numaraları ne olmalıdır (a) *6d* orbitalleri tam dolmuş olan element, (b) bizmuta en çok benzemesi gereken element, (c) soy gaz olması gereken element.

Atom ve İyon Yarıçapları

9. Aşağıda verilen her bir atom çifti için hangisinin daha büyük boyutlu olduğunu gösteriniz: (a) Te ya da Br; (b) K ya da Ca; (c) Ca ya da Cs; (d) N ya da O; (e) O ya da P; (f) Al ya da Au.
10. Aşağıda verilen atom ve iyonlardan hangisinin *en büyük* ve *en küçük* olduğunu belirtiniz: Al atomu, F atomu, As atomu, Cs^+ iyonu, I^- iyonu, N atomu.
11. Atom yarıçaplarının, atom numarasının artması ile neden aynı oranda ve basit bir bağıntı ile artmadığını açıklayınız.
12. Atomların tek tek kütleleri duyarlı bir şekilde belirlenebildiği halde, atomların gerçek büyüklükleri hakkında hala belirsizlikler vardır. Bu durumun nedenini açıklayınız.
13. (a) 13. grupta en küçük atom hangisidir? (b) Te, In, Sr, Po, Sb atomları içinde en küçük atom hangisidir? Neden?
14. H ve He atomuna göre, hidrojen iyonu (H^+), ve hidrür iyonunun (H^-) büyüklüklerinin nasıl olmasını beklersiniz? Açıklayınız.
15. Aşağıda verilen atom ve iyonları yarıçap artışına göre sıralayınız: Br, Li^+, Se, I^-. Yanıtınızı açıklayınız.
16. Şekil 9-12 deki genellemenin, Al atomu mu yoksa I atomu mu daha büyük sorusuna yanıt için neden kullanılamayacağını açıklayınız.
17. Aşağıda verilen iyonların içinde, *eşelektronlu* iyonlar vardır. Bu çiftleri belirleyiniz. Fe^{2+}, Sc^{3+}, Ca^{2+}, F^-, Co^{2+}, Co^{3+}, Sr^{2+}, Cu^+, Zn^{2+}, Al^{3+}.
18. Aşağıdakiler kripton soy gazı ile *eşelektronlu*dur. Bunları artan yarıçaplarına göre sıralayınız ve sıralarken hangi ilkeye dayandığınızı açıklayınız: Rb^+, Y^{3+}, Br^-, Sr^{2+}, Se^{2-}.
19. Tüm eş elektronlu taneÖkler metin içinde soy gazların elektron dağılımlarına göre gösterilmişlerdir. Herhangi iki iyon soy gazların elektron dağılımına sahip *olmadan* da eşelektronlu yapıya sahip olabilir mi? Açıklayınız.
20. İki farklı atomun eşelektronlu yapıya sahip olması olası mıdır? Ya da iki farklı katyonun? Ya da iki farklı anyonun? Ya da bir katyon ve bir anyonun? Açıklayınız.

İyonlaşma Enerjileri; Elektron İlgileri

21. Bu bölümde belirtilen ilkelerden yararlanarak, aşağıdaki atomları, birinÖ iyonlaşma enerjilerinin *artışına* göre sıralayınız: Sr, Cs, S, F, As.
22. İkinÖ iyonlaşma enerjisi (I_2) birinÖden (I_1) daha küçük olan atom var mıdır? Açıklayınız.
23. Bazı elektron ilgileri negatif, bazıları sıfır ya da pozitif değerlidir. Neden iyonlaşma enerjileri için durum böyle değildir?
24. *Gaz* halindeki 1,00 mg Na atomunun tamamını Na^+ iyonuna dönüştürmek için, kJ biriminde ne kadar enerji gerekir? Na atomunun birinÖ iyonlaşma enerjisi 495,8 kJ/mol'dür.
25. Gaz halinde bir mol silisyum atomunun üçüncü kabuk elektronlarının tümünü uzaklaştırmak için, kJ biriminde ne kadar enerji gerekir?
26. Gaz halindeki Cs atomlarından, soğurulan bir joule enerji başına, maksimum kaç tane Cs^+ oluşturulabilir?
27. Brom moleküllerinden, gaz halinde bromür iyonları oluşturulmasında gözönüne alınabilecek iki basamaklı bir işlemin ilk basamağı

$$Br_2(g) \longrightarrow 2\,Br(g) \qquad \Delta H = +193\ kJ$$

dür. $Br_2(g)$ dan $Br^-(g)$ oluşumu endotermik mi yoksa ekzotermik bir işlem midir?

28. Metin içinde verilen iyonlaşma enerjileri ve elektron ilgilerini kullanarak, aşağıdaki tepkimenin endotermik mi yoksa ekzotermik mi olduğunu belirleyiniz

$$Mg(g) + 2\,F(g) \longrightarrow Mg^{2+}(g) + 2\,F^-(g)$$

29. Na^+ iyonu ile Ne atomu eşelektronludur. Gaz halindeki Ne atomunun elektron kaybetme kolaylığının ölçüsü I_1 olup, değeri 2081 kJ/mol dur. Gaz halindeki Na^+ iyonunun ise elektron kaybetme kolaylığının ölçüsü Na un I_2 değeri olup 4562 kJ/mol büyüklüğündedir. Bu değerler niçin aynı değildir.
30. Şekil 9-11 de verilen değerlere göre, enerji açısından gaz halinde Li^- anyonunun oluşması mümkün görünmektedir. Yani, gaz halindeki Li atomu elektron aldığı zaman enerji açığa çıkar. Li^+Li^- veya Na^+Li^- gibi, Li^- iyonu içeren kararlı bir bileşiğin oluşma olasılığını yorumlayınız.
31. Al, Si ve Cl elementlerini;
    (a) Artan iyonlaşma enerjilerine göre sıralayınız.
    (b) Artan elektron ilgilerine göre sıralayınız.
32. Na, Mg, O ve P elementlerini;
    (a) Artan iyonlaşma enerjilerine göre sıralayınız.
    (b) Artan elektron ilgilerine göre sıralayınız.

Manyetik Özellikler

33. Aşağıda verilen iyonlardan sadece birinde eşleşmemiş elektron bulunmaktadır. Hangisi olduğunu gösteriniz ve nedenini açıklayınız: F^-, Ca^{2+}, Fe^2
34. Aşağıda verilen atom ve iyonlardan hangisi en çok sayıda eşleşmemiş elektrona sahiptir? (a) Ge; (b) Cl; (c) Cr^{3+}; (d) Br^-
35. Aşağıda verilen atom ve iyonlardan hangilerinin paramanyetik, hangilerinin diamanyetik olmasını beklersiniz? (a) K^+; (b) Cr^{3+}; (c) Zn^{2+}; (d) Cd; (e) Co^{3+}; (f) Sn^{2+}; (g) Br.
36. Aşağıda verilen iyonlar, yanlarında belirtilen sayıda eşleşmemiş elektron içerdiğine göre, elektron dağılımlarını yazınız: Ni^{2+}: 2; Cu^{2+}: 1; Cr^{3+}: 3.
37. Tek atom numaralı tüm atomlar paramanyetik olmak zorunda mıdır? Çift atom numaralı tüm atomlar diyamanyetik olmak zorunda mıdır? Açıklayınız.
38. Elektron dağılımlarına göre ne Co^{2+}, ne de Co^{3+} 4*s* elektronlarına sahiptir. Her iyonda kaç tane eşleşmemiş elektronun olmasını beklersiniz? Açıklayınız.

Periyodik Çizelgeye Dayalı Tahminler

39. Bu bölümde verilen bilgileri kullanarak, (a) görünür ışıkla fotoelektrik etki göstermesini beklediğiniz ve beklemediğiniz üç metal söyleyiniz. (b) sıvı halde en yüksek yoğunluğa sahip olmasını beklediğiniz soy gaz elementini söyleyiniz. (c) fermiyumun (Z = 100) birinÖ iyonlaşma enerjisini yaklaşık olarak belirleyiniz; (d) katı radyumun (Z = 88) yaklaşık yoğunluğunu belirleyiniz.
40. Bir elementin atomlaşma ısısı, standart koşullardaki bir mol atomu gaz fazına geçirmek için gereken enerjidir. 14. grup elementlerinden üç tanesinin atomlaşma ısısı, mol başına kJ olarak şöyledir: karbon: 717; silisyum: 452 ve kalay: 302 kJ/mol. Germanyumun atomlaşma ısısını tahmin ediniz.
41. Galyum ticari olarak önemli bir elementtir (yarı iletken endüstrisinde galyum arsenür yapımında kullanılır). Mendeleev zamanında galyum bilinmiyordu ancak bu elementin özelliklerini o tahmin etti. Galyum için aşağıdakileri siz tahmin ediniz : (a) yoğunluğunu; (b) oksidin formülünü ve yüzde bileşimini. [*İpucu*: Şekil 9-1, eşitlik (9.1) ve Mendeleev'in periyodik çizelgesini kullanınız s. 362.]
42. Aşağıdaki elementlerden, belirtilen özelliğe uygun olanını seçiniz.
    (a) en büyük atom: Mg, Mn, Mo, Ba, Bi, Br
    (b) En düşük birinÖ iyonlaşma enerjisine sahip atom: B, Sr, Al, Br, Mg, Pb

(c) En negatif elektron ilgisi gösteren atom: As, B, Cl, K, Mg, S

(d) Eşleşmemiş elektron sayısı en çok olan atom ya da iyon: F, N, S^{2-}, Mg^{2+}, Sc^{3+}, Ti^{3+}

43. Soy gazların kaynama noktaları, görüldüğü gibi grupta aşağıya doğru artar: He, 4,2; Ne, 27,1; Ar, 87,3; Kr, 119,7 ve Xe, 165K. Radonun kaynama noktasının ne olmasını beklersiniz?

44. Aşağıdaki bileşiklerden kaynama noktası verilmemiş olanların kaynama noktalarını tahmin ediniz.

(a) CH_4: –164°C; SiH_4: –112°C; GeH_4: –90°C; SnH_4: ?°C.

(b) H_2O, ?°C; H_2S: –61°C; H_2Se: –41°C; H_2Te: –2°C. (b) için öngördüğünüz suyun kaynama noktası bilinen değeri ile uyumlumu mudur?

45. Aşağıda solda harfle belirtilen değerleri, sağda verilen numaralarla uygun bir şekilde eşleştiriniz. Numaralı olan tüm özellikler kullanılacaktır. Bazıları birden çok kullanılabilir.

(a) Z = 32	1. iki eşleşmemiş *p* elektronu
(b) Z = 8	2. diamanyetik
(c) Z = 53	3. aynı periyotta, kendisinin iki yanındaki elementlerden daha negatif elektron ilgisi olan element
(d) Z = 38	
(e) Z = 48	4. Birinci iyonlaşma enerjisi Ca'dan küçük Cs'den büyük.
(f) Z = 20	

46. Aşağıda solda harfle belirtilen değerleri sağda verilen numaralarla uygun bir şekilde eşleştiriniz. Numaralı olan tüm özellikler kullanılacaktır. Bazıları birden çok kullanılabilir.

(a) Tl	1. Toprak alkali metal
(b) Z = 70	2. 5. periyot 15. grup elementi
(c) Ni	3. Tüm elementlerin en büyük yarıçaplı olanı
(d) $[Ar]4s^2$	4. 4. periyot 16. grup elementi
(e) Yarımetal	5. $3d^8$
(f) Ametal	6. En yüksek *n* değerindeki kabukta bir tane *p* elektronu olan.
	7. Tüm elementlerin en düşük iyonlaşma enerjisine sahip olanı.
	8. Bir tane *f*-blok elementi.

47. Aşağıda verilen iyonlardan hangisinin bir kimyasal bileşik içinde bulunması olası değildir? K^+, Ga^{4+}, Fe^{6+}, S^{2-}, Ge^{5+} ya da Br^-. Nedenini kısaca açıklayınız.

48. Aşağıda verilen iyonlardan hangisinin bir kimyasal bileşik içinde bulunması olasıdır? Na^{2+}, Li^+, Al^{4+}, F^{2-} ya da Te^{2-}. Nedenini kısaca açıklayınız.

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

49. Aşağıdaki eşitlikleri tamamlayıp denkleştiriniz. Tepkime gerçekleşmiyorsa belirtiniz.

(a) $Rb(k)+H_2O(s) \longrightarrow$

(b) $I_2(k) + Na^+(suda) + Br^-(suda) \longrightarrow$

(c) $SrO(k) + H_2O(s) \longrightarrow$

(d) $SO_3(g) + H_2O(s) \longrightarrow$

50. Aşağıdaki tepkimelere uygun denkleştirilmiş eşitlikler yazınız.

(a) sulu çözeltideki sıvı brom ile halojen anyonlarının yer değiştirme tepkimesi

(b) Z > 50 olan alkali metallerin su ile tepkimesi

(c) tetrafosfor dekaoksit'in su ile tepkimesi

(d) aluminyum oksidin sulu sülfürik asit ile tepkimesi

51. Aşağıda dört atom ya da iyonun, bağıl atom ya da iyon büyüklüklerine göre çizimleri verilmiştir.



Aşağıdaki gruplardan hangisi bu çizimlere uyar? Açıklayınız.

(a) C, Ca^{2+}, Cl^-, Br^-; (b) Sr, Cl, Br^-, Na^+; (c) Y, K, Ca, Na^+; (d) Al, Ra^{2+}, Zr^{2+}, Mg^{2+}; (e) Fe, Rb, Co, Cs.

52. Ana yapısında *tüm* elementleri içine alan bir periyodik çizelge oluşturunuz. Çizelgenin genişliği kaç sayıdan oluşacaktır?

53. Mendeleev zamanında, içinde kütlece %82,5 In bulunan indiyum oksit, InO olarak düşünülmüştü. Eğer böyle olsaydı, indiyum, Mendeleev'in çizelgesinde (sayfa 362) hangi gruba yerleştirilmeliydi?

54. Mendeleev, indiyum için atom kütlesi yerine 53. problemdeki verileri kullanarak indiyum oksit için In_2O_3 formülünü önermiştir. Bu kabule göre, Mendeleev'in 362. sayfada verilen periyodik çizelgesinde indiyumu uygun gruba yerleştirdiğini gösteriniz.

55. Aşağıdaki çizelgede germanyumun iki ayrı atom özelliği verilmiştir. Yalnızca ön kapağın içyüzünde verilen periyodik çizelgeyi gözönüne alarak, aşağıdaki elementlerin belirtilen özelliklerini Ge'a göre daha büyük, eşit ve daha küçük diye belirtiniz.

Element	Atom Yarıçapı	Birinci İyonlaşma Enerjisi
Ge	122 pm	762 kJ/mol
Al	?	?
In	?	?
Se	?	?

56. Örnek 9-5 deki brom'un tahmini kaynama ve donma noktasını, Kelvin sıcaklığı yerine Celsius ya da Fahrenheit sıcaklıklarını kullanarak bulabilir misiniz? Açıklayınız.

57. X_2 formülünde, iki X atomu aynı halojen ise madde halojen elementidir (Örneğin, Cl_2, Br_2). İki X atomu farklı ise (Cl ve Br gibi), *halojenler arası* bileşik olarak adlandırıyoruz. Çizelge 9-5 den yararlanarak BrCl ve ICl bileşiklerinin her birinin erime ve kaynama noktalarını tahmin ediniz.

58. Şekil 9-9 u kullanarak, 1– ve 2– yüklü anyonların iyon yarıçapları arasındaki farkın, periyodik çizelgede yukarıdan aşağıya doğru neden sabit kalmadığını açıklayınız.

59. Li'un üçüncü iyonlaşma enerjisinin, niçin hem birinÖ hem de ikinÖ iyonlaşma enerjilerinden daha kolay hesaplandığını açıklayınız. Li'un I_3 enerjisi hesaplayınız ve kJ/mol olarak veriniz.

60. A ve B olarak işaretlenen iki atomun elektron dağılımları aşağıdaki gibidir.

$$A = [Ar]4s^1 \qquad B = [Ar]3d^{10}4s^24p^3$$

(a) Hangi element metaldir?

(b) Hangi elementin iyonlaşma enerjisi daha büyüktür?

(c) Hangisi daha büyük atom yarıçapına sahiptir?

(d) Hangi elementin elektron ilgisi daha büyüktür?

61. A ve B olarak işaretlenen iki atomun elektron dağılımları aşağıdaki gibidir.

$$A = [Kr]4s^2 \qquad B = [Ar]3d^{10}4s^24p^5$$

(a) Hangi element metaldir?

(b) Hangi elementin iyonlaşma enerjisi daha büyüktür?

(c) Hangisi daha büyük atom yarıçapına sahiptir?

(d) Hangi elementin elektron ilgisi daha büyüktür?

62. 1880'de yapılan çalışmalar bir uranyum klorür bileşiğinin kütlece %37,34 Cl içerdiğini ve formül kütlesinin yaklaşık 382 akb olduğunu göstermiştir. Diğer veriler, uranyumun özgül ısısının 0,0276 cal/g °C olduğunu göstermektedir. Bu veriler, Mendeleev tarafından verilen uranyumun atom kütlesi olan 240 akb ile uyumlu mudur? [*İpucu*: Kesim 7'de Özellikli Soru 121'e bakınız]

63. Atomların katı küreler olduğunu varsayarak Na'un metal yarıçapını 186 pm alınız ve bir Na atomunun ve bir mol Na atomunun hacmini hesaplayınız. Sonucunuz Şekil 9-1 de bulunan atom hacmine uyuyor mu? İki değer arasında niçin büyük fark vardır?

64. Sodyum klorür şiddetli bir alevde ısıtıldığında oluşan alev, sodyum atomunun yayılma spektrumu ile bağlantılı olarak, sarı bir renk alır. *Gaz fazında* yürüyen tepkime,

$$Na^+(g) + Cl^-(g) \longrightarrow Na(g) + Cl(g)$$

şeklindedir. Bu tepkime için ΔH'ı hesaplayınız.

65. 8. ve 9. bölümlerdeki bilgileri kullanarak He atomunun ikinÖ iyonlaşma enerjisini hesaplayınız. Sonucu çizelge değeri olan 5251 kJ/mol değeri ile kıyaslayınız.

66. Sadece kitabın ön kapağın içyüzündeki periyodik çizelgeden yararlanarak; aşağıdaki iyonlaşma enerjilerini artan yönde sıralayınız: F için I_1; Ba için I_2; Sc için I_3; Na için I_2; Mg için I_3. Belirsizlik varsa açıklayınız.

67. 375.sayfadaki dipnota bakınız ve temel fiziksel sabitlerin değerleri ile eklerdeki verileri kullanarak, 1 eV/atom = 96,49 kJ/mol olduğunu gösteriniz.

68. Li, Be^+, B^{2+}, C^{3+} ve Na, Mg^+, Al^{2+}, Si^{3+} için iyonlaşma enerjilerinin karekökünü çekirdek yüklerine karşı grafiğe geçiriniz. Tek elektronlu bir atomdaki elektronun bağlanma enerjisi için verilen Bohr bağıntısı yardımıyla gözlenen ilişkiyi açıklayınız.

Özellikli Sorular

69. Bazı metallerin iş fonksiyonu aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

(a) bir grupta aşağıya doğru iş fonksiyonları nasıl değişir?

(b) bir periyot boyunca iş fonksiyonları nasıl değişir?

(c) potasyumun iş fonksiyonunu tahmin ediniz ve yayınlanmış değeri ile kıyaslayınız.

(d) iş fonksiyonu hangi periyodik özelliğe çok benzer?

Metal	İş fonksiyonu, J × 10^{19}
Al	6,86
Cs	3,45
Li	4,6
Mg	5,86
Na	4,40
Rb	3,46

70. Aşağıdaki bazı elementler ve onların karakteristik X-ışını dalga boyları verilmiştir.

Element	X-ışını, Dalga boyu (pm)
Mg	987
S	536
Ca	333
Cr	229
Zn	143
Rb	93

Bu verileri kullanarak, Moseley bağıntısındaki (sayfa 363) A ve b sabitlerini belirleyiniz. Bulduğunuz A değerini, Bohr teorisinden tek elektronlu bir atomun frekansı için elde edilen değer ile kıyaslayınız. b değeri için anlamlı bir açıklama yapınız.

71. Gaz halindeki sodyum atomlarının soğurduğu enerji kuantları aşağıda verilmiştir.

Enerji kuantı kJ mol^{-1}	Elektron Dağılımı
0	$[Ne]3s^1$
203	$[Ne]3p^1$
308	$[Ne]4s^1$
349	$[Ne]3d^1$
362	$[Ne]4p^1$

(a) Temel haldeki iyonlaşma enerjisi 496 kJ/mol'dür. Çizelgede verilen her bir hal için iyonlaşma enerjilerini hesaplayınız.

(b) Her hal için Z_{et} değerini hesaplayınız.

(c) Her hal için $\bar{r}_{nl}$ değerini hesaplayınız.

(d) (b) ve (c) de elde ettiğiniz sonuçları girinim ve perdeleme açısından yorumlayınız.

72. Elektron ilgisini tahmin etmek için bir yöntem; elektron ilgisi bulunacak olan negatif iyonla aynı sayıda elektron içeren atomların veya iyonların Z_{et} değerlerinin ekstrapolasyonudur. Aşağıdaki çizelgede verilen verileri kullanarak soruları yanıtlayınız.

Atom veya İyon: I(kJ mol^{-1})	Atom veya İyon: I(kJ mol^{-1})	Atom veya İyon I(kJ mol^{-1})
Ne: 2080	F: 1681	O: 1314
Na^+: 4565	Ne^+: 3963	F^+: 3375
Mg^{2+}: 7732	Na^{2+}: 6912	Ne^{2+}: 6276
Al^{3+}: 11,577	Mg^{3+}: 10,548	Na^{3+}: 9540

(a) F'un elektron ilgisini tahmin ediniz ve deneysel değeri ile kıyaslayınız.

(b) O ve N'un elektron ilgisini tahmin ediniz.

(c) Sonuçlarınızı çekirdeğe girinim ve perdeleme açısından değerlendiriniz.

73. Hidrojen benzeri atomların dalga fonksiyonları ile Z çekirdek yüküne sahip olan atom veya iyonların dalga fonksiyonlarının benzer olduğunu ve bu dalga fonksiyonlarının, perdeleme ya da gölgeleme etkisini dikkate almak üzere (9.3) eşitliğine göre geliştirildiğini gördük. 1930'da John C. Slater, *ns* ya da *np* orbitali elektronlarını düzenlemek için, perdeleme sabitini belirlemek üzere, aşağıdaki ampirik kuralları oluşturmuştur.

(i) Elementlerin elektron dağılımlarını yazınız ve alt kabukları aşağıdaki şekilde gruplayınız: (1*s*), (2*s*,2*p*), (3*s*,3*p*), (3*d*), (4*s*,4*p*), (4*d*), (4*f*), (5*s*,5*p*), v.b.

(ii) (*ns*,*np*) grubunun sağındaki gruplarda bulunan elektronlar söz konusu elektron için perdeleme etkisi yapmazlar.

(iii) (*ns*,*np*) grubundaki diğer elektronların tamamı perdelemeye katılır ve her birinin etkisi 0,35 kadardır.

(iv) n–1 deki tüm elektronların her biri 0,85 büyüklüğünde perdeleme yapar.

(v) n–2 ya da daha düşük kabuklardaki tüm elektronlar tam perdeleme yapar, perdeleme sabitine katkıları her biri için 1,00 dir.

nd ya da *nf* grubunda bulunan bir elektron perdelendiğinde (ii) ve (iii) kuralları aynı kalırken (iv) ve (v) yerine aşağıdaki kural geçer,

(vi) *nd* ya da *nf* grubunun solundaki bir grupta bulunan her elektron perdeleme sabitine 1,00 büyüklüğünde katkı yapar.

Bu kurallar, farklı konumlardaki elektronların ortalama davranışlarına göre basitleştirilmiş bir genellemedir. Bu kuralları kullanarak, aşağıdaki işlemleri yapınız:

(a) Oksijenin değerlik elektronları için Z_{et} değerini hesaplayınız.

(b) Cu'ın 4*s* elektronları için Z_{et} değerini hesaplayınız.

(c) Cu'ın 3*d* elektronları için Z_{et} değerini hesaplayınız.

(d) BirinÖ grup elementlerinin (H dahil) değerlik elektronları için Z_{et} değerini bulunuz. Bu grubun gözlenen iyonlaşma enerjilerinin Slater kuralları kullanılarak belirlenebileceğini gösteriniz. (*İpucu*: Orbital enerjisi üzerine n'in etkisini dikkate almayınız.)

(e) Li'dan Ne'a kadar olan elementlerin değerlik elektronları için Z_{et} değerini oluşturunuz. Bu sonuçları kullanarak bu elementlerin birinÖ iyonlaşma enerjilerindeki gözlenen artış eğilimini açıklayınız.

(f) Çizelge 8.1'de verilen radyal fonksiyonları ve Slater kuralları ile tahmin edilen Z_{et} değerlerini kullanarak, H ve Na atomlarının 3*s*, 3*p* ve 3*d* orbitallerinin radyal olasılık grafiklerini kıyaslayınız. Radyal olasılık dağılımları üzerine perdeleme etkisi dikkate alınırsa, bu grafiklerden ne görülür?

Kendi Kendini Deneme Soruları

74. Aşağıda verilen terimleri kendi sözcüklerinizle açıklayınız : (a) eşelektronlu, (b) değerlik kabuğu elektronları, (c) metal, (d) ametal, (e) yarı metal.

75. Aşağıda verilen kavram ya da olayların her birini kısaca açıklayınız: (a) periyodik yasa, (b) iyonlaşma enerjisi, (c) elektron ilgisi, (d) paramanyetizma.

76. Aşağıda verilen terim çiftleri arasında bulunan önemli farkları açıklayınız : (a) aktinit ve lantanit elementleri, (b) kovalent ve metal yarıçapları, (c) atom numarası ve etkin çekirdek yükü, (d) iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi, (e) paramanyetik ve diamanyetik.

77. Atomlarının elektron dağılımı, [Kr]$4d^{10}5s^25p^3$ şeklinde olan bir element; (a) periyodik çizelgenin 13. grubunda mıdır? (b) Bi elementine benzediği doğru mudur? (c) Te elementine benzer mi? (d) Bir geçiş elementi midir?

78. Dördüncü periyot elementleri içinde en büyük atom aşağıdakilerden hangisidir? (a) K, (b) Br, (c) Pb, (d) Kr.

79. Aşağıda verilen taneÖklerden hangisi en büyüktür? (a) Ar atomu, (b) K^+ iyonu, (c) Ca^{2+} iyonu, (d) Cl^- iyonu.

80. Aşağıda verilen elementlerden hangisinin birinÖ iyonlaşma enerjisi en büyüktür? (a) Cs, (b) Cl, (c) I, (d) Li.

81. Aşağıda verilen elementlerden hangisinin elektron ilgisi en fazladır? (a) Br, (b) Sn, (c) Ba, (d) Li.

82. Aşağıda verilen taneÖklerden hangisi Se^{2-} iyonu ile eşelektronlu yapıdadır? (a) S^{2-}, (b) I^-, (c) Xe, (d) Sr^{2+}.

83. Cs'un elektron dağılımını yazıp ilk iki iyonlaşmasını gösteriniz. İkinÖ iyonlaşma enerjisinin birinÖden neden çok daha büyük olduğunu açıklayınız.

84. Mg'un birinÖ iyonlaşma enerjisi Na'un birinÖ iyonlaşma enerjisinden daha büyük olduğu halde, Na'un ikinÖ iyonlaşma enerjisi neden Mg'un ikinÖ iyonlaşma enerjisinden daha büyüktür? Açıklayınız.

85. Aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

(a) P, As ve S elementlerinden hangisinin atom yarıçapı en büyüktür?

(b) Aşağıda verilenlerden hangisinin yarıçapı en küçüktür: Xe, O^{2-}, N^{3-} ya da F^-?

(c) Aşağıda verilenlerden hangisinin birinÖ ve ikinÖ iyonlaşma enerjileri arasındaki fark en büyüktür: Al, Si, P ya da Cl ?

(d) Hangisinin iyonlaşma enerjisi en büyüktür: C, Si ya da Sn ?

(e) Hangisinin elektron ilgisi en büyüktür: Na, B, Al ya da C ?

86. Si, P, S ve Cl'un birinÖ iyonlaşma enerjileri Çizelge 9.4 de verilmiştir. Değişim yönünün nedenini kısaca açıklayınız.

87. Atom kütleleri sırasına göre, periyodik çizelgeye uymayan üç çift element bulunuz. Niçin bunların çizelgedeki yerlerini değiştirmek gerekmektedir?

88. $^{119}_{50}Sn$ atomu için, (a) çekirdekteki proton, (b) çekirdekteki nötron, (c) 4*d* elektronları, (d) 3*s* elektronları, (e) 5*p* elektronları, (*f*) değerlik kabuğundaki elektronları gösteriniz.

89. Kitabın ön kapağının içyüzündeki periyodik çizelgeden yararlanarak, (a) en ametal elementi, (b) en düşük atom numaralı geçiş metalini, (c) atom numarası iki soy gazın tam ortasında olan yarı metali gösteriniz.

90. Aşağıdaki elementlerin simgelerini yazınız: (a) 14. gruptaki en küçük atom; (b) 5. periyottaki en büyük atom; (c) 17.gruptaki birinÖ iyonlaşma enerjisi en küçük olan atom.

91. Sadece kitabın ön kapağının içyüzündeki periyodik çizelgeden yararlanarak, Bi, S, Ba, As ve Ca atomlarından hangisinin, (a) en metalik (b) en ametalik özellikte olduğunu, (c) birinÖ iyonlaşma enerjilerinin artması yönünde sıralandıklarında, beş atomdan hangisinin ortada bulunduğunu gösteriniz.

92. Aşağıda verilen elementleri, metalik özellikleri azalacak yönde sıralayınız: Sc, Fe, Rb, Br, O, Ca, F, Te.

93. Çok elektronlu birçok atomun periyodik davranışlarını Z_{et} değerine bağlı olarak açıklamak olanaklıdır. Buna göre, aşağıda verilen ifadelerin doğru ya da yanlışlıklarını irdeleyiniz.

(a) *p* orbitalinde bulunan elektronların diğer elektronları çekirdek yüküne karşı perdelenmesi, s orbitali elektronlarına göre daha etkilidir.

(b) *s* orbitalindeki bir elektron için Z_{et} değeri, aynı kabuktaki *p* elektronlarında olduğundan daha düşüktür.

(c) Z_{et} genel olarak Z den küçüktür.

(d) $\ell = 1$ elektronları, $\ell = 2$ işaretli olanlardan daha çok girinim yapma özelliğine sahiptir.

(e) Na(3*s*), Mg(3*s*), Al(3*p*), P(3*p*) ve S(3*p*) elementlerinin orbitallerine ait Z_{et} değerleri için sıralama, $Z_{et}(Na) < Z_{et}(Mg) > Z_{et}(Al) < Z_{et}(P) > Z_{et}(S)$ şeklindedir.

94. Azot atomunun temel halini dikkate alarak, aşağıdaki ifadelerin doğru ya da yanlış olduklarını belirleyiniz.

(a) 2*s* orbitalindeki elektronların Z_{et} değerleri, 1*s* orbitalinde olanlardan daha büyüktür.

(b) 2*p* ve 2*s* orbitallerindeki elektronların Z_{et} değerleri aynıdır.

(c) 2*s* orbitalindeki elektronların kopartılması için gereken enerji, 2*p* orbitalindeki elektronların kopartılması için gerekenden daha büyüktür.

(d) 2*s* elektronları 2*p* elektronlarından daha az perdelenir.

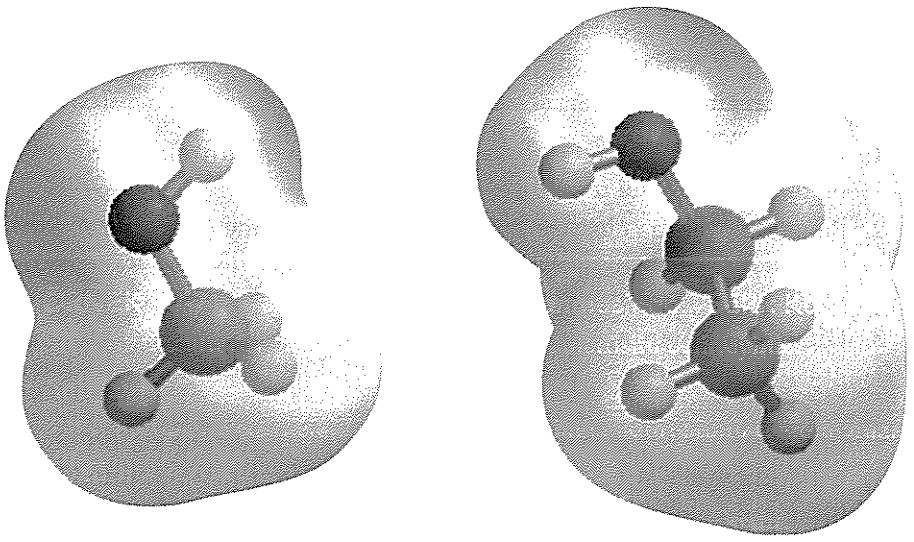
95. He^-, Li^-, Be^-, B^-, C^-, N^-, O^- ve F^- iyonlarının iyonlaşma enerjilerinin, atom numaraları ile nasıl değiştiğini açıklayınız.

96. Be^+, B^+, C^+, N^+, O^+, F^+, Ne^+ ve Na^+ iyonlarının iyonlaşma enerjilerinin atom numaraları ile nasıl değiştiğini açıklayınız.

97. Periyodik yasa ve atom özelliklerin değişimini kapsayan bir kavramlar haritası hazırlayınız, (Ek E ye bakınız).

10

Kimyasal Bağ I: Temel Kavramlar



Metanolün (CH_3OH) ve etanolün (CH_3CH_2OH) bilgisayarla oluşturulmuş elektrostatik potansiyel haritaları. Renkler, moleküllerdeki yük dağılımlarını gösterirken, molekülü çevreleyen yüzey, elektron yük yoğunluğunun kapsamını göstermektedir. Bu bölümde, moleküllerin geometrik şekillerini ve polaritelerini öngörmemizi sağlayacak kavramları inceleyeceğiz.

İÇİNDEKİLER

10-1 Lewis Kuramı: Genel Bakış
10-2 Kovalent Bağlanma: Giriş
10-3 Polar Kovalent Bağlar ve Elektrostatik Potansiyel Haritaları
10-4 Lewis Yapılarının Yazılması
10-5 Rezonans
10-6 Oktet Kuralından Sapmalar
10-7 Moleküllerin Biçimleri
10-8 Bağ Derecesi ve Bağ Uzunlukları
10-9 Bağ Enerjileri

Kimyasal bileşikler hakkında şu ana kadar bildiklerimizi gözden geçirelim. Bileşiklerin bileşimlerini belirleyip formüllerini yazabilecek durumdayız. Tepkimeleri kimyasal eşitliklerle gösterebilir ve bu eşitlikler üzerinde stokiyometrik ve termokimyasal hesaplamalar yapabiliriz. Bütün bunları maddenin tam yapısını, yani atom ve moleküllerin yapısını gerçekten bilmeden yapabiliriz. Molekülün biçimi (atomların uzaydaki düzeni) çoğu kez bileşiğin kimyasal özelliklerini belirler. Eğer su, farklı bir molekül biçiminde olsaydı, bildiğimiz özellikleri oldukça farklı olacaktı ve bunun sonucunda bildiğimiz yaşam gerçekleşemeyebilecekti.

Bu bölümde, molekülleri oluşturan atomlar arasındaki etkileşimleri, yani *kimyasal bağları* açıklayacağız. İncelemelerimizin çoğu, kimyasal bağı gösteren en basit yöntemlerden biri olan Lewis kuramı üzerinde odaklanacaktır. Buna ek olarak, molekül şekillerini öngörmek amacıyla diğer bir basit kuramı da inceleyeceğiz. Bu bölüm boyunca bu kuramlarla, molekül yapıları hakkında deneysel ölçümlerden elde edilen verileri ilişkilen-

dirmeye çalışacağız. Bölüm 11 de kimyasal bağlar konusunu daha ayrıntılı inceleyeceğiz ve Bölüm 12 de moleküller arası kuvvetleri tanımlayarak, molekül şekli ile bileşiklerin özellikleri arasındaki ilişkileri daha iyi anlayacağız.

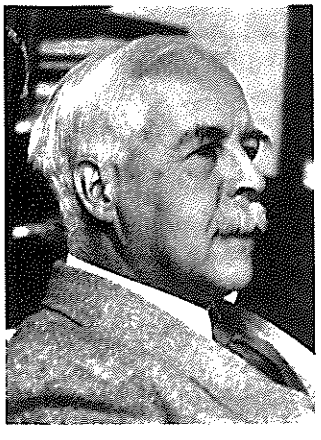
▶ 1962 den beri Xe ve Kr un birçok bileşiği sentezlenmiştir. Bu bölümde göreceğimiz gibi, bunların tamamen soy olduğu söylemi geçersiz olsa da, soy gaz elektron dağılımı kavramı geçerli ve yararlıdır.

10-1 Lewis Kuramı: Genel Bakış

1916 - 1919 yıları arasında iki Amerikalı G. N. Lewis ve Irving Langmuir ile bir Alman Walther Kossel kimyasal bağlar hakkında önemli bir öneride bulundular: "Soy gazların asallıkları elektron dağılımlarından ileri gelir ve diğer elementlerin atomları, soy gaz atomlarının elektron dağılımlarına benzemek amacıyla bir araya gelmektedir." Bu kuram daha çok G. N. Lewis'in adıyla bilindiğinden **Lewis Kuramı** olarak anılır. Lewis kuramının bazı temel esasları şöyledir:

1. Elektronlar, özellikle de dış kabuk (değerlik) elektronları kimyasal bağlanmada temel rol oynar.
2. Bazı durumlarda elektronlar bir atomdan diğerine *aktarılır*. Böylece oluşan artı ve eksi yüklü iyonlar birbirlerini **iyonik bağlar** adı verilen elektrostatik kuvvetlerle çekerler.
3. Diğer durumlarda, eşleşmiş iki ya da daha fazla elektron, atomlar arasında ortaklanır. Elektronların bu ortaklanması ile oluşan bağa **kovalent bağ** denir.
4. Elektronların bir atomdan diğer atoma aktarılması ya da iki atom arasında ortaklanması, atomların kararlı elektron dağılımına sahip olmalarını sağlar. Genellikle bu dağılım, dış kabuk elektronlarının sekiz (**oktet kuralı**) olduğu soy gaz elektron dağılımına benzer.

▶ *Kovalent* terimi Irving Langmuir tarafından önerilmiştir.



▲ **Gilbert Newton Lewis (1875-1946).** Lewis'in kimyasal bağlanma konusuna katkıları, bu kitap boyunca yer almaktadır. Ayrıca, kimyasal termodinamik konusundaki öncü çalışmaları da aynı önemdedir.

Lewis Simgeleri ve Lewis Yapıları

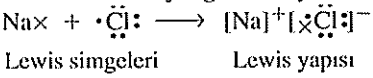
Lewis kendi kuramı için özel bir gösterim geliştirmiştir. **Lewis simgesi,** *iç kabuk* elektronları ve çekirdeği gösteren bir simge ile *dış kabuk* elektronlarını (*değerlik elektronlarını*) gösteren noktalardan oluşur. Örneğin, elektron dağılımı $[Ne]3s^2 3p^2$ olan silisyumun Lewis simgesi şöyledir.



Lewis, kuramını öne sürdüğünde henüz elektron spini kavramı bilinmediğinden; silisyumda iki değerlik elektronunun ($3s^2$) eşleştiğini, iki elektronun ($3p^2$) ise eşleşmediğini gösterememiştir. Biz de Lewis simgelerini Lewis'in gösterdiği şekilde yazacağız. Kimyasal simgenin çevresine en fazla dört nokta koyacağız. Eğer değerlik elektronu sayısı dörtten fazla olursa; oktete ulaşıncaya kadar noktaları eşleştireceğiz. Lewis simgeleri baş grup elementleri için yaygın olarak kullanılmalarına karşın, geçiş elementleri için fazla kullanılmazlar. Birçok baş grup elementinin Lewis simgesi Örnek 10-12 de yazılmıştır.

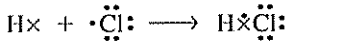
Lewis yapısı, kimyasal bağdaki elektron alışverişini ya da ortaklanmasını gösteren Lewis simgelerinin bir araya gelmesiyle oluşur.

İyonik bağlanma (elektron alışverişi):



Lewis simgeleri Lewis yapısı (10.1)

Kovalent bağlanma (elektron ortaklanması):



Lewis simgeleri Lewis yapısı (10.2)

ÖRNEK 10-1 Lewis Simgelerinin Yazılması

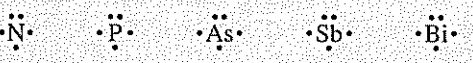
Şu elementler için Lewis simgelerini yazınız: (a) N, P, As, Sb, Bi (b) Al, I, Se, Ar.

Analiz

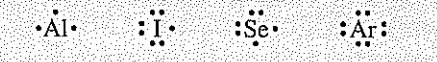
Elementin periyodik çizelgede bulunduğu yer, Lewis simgesindeki değerlik elektronlarının sayısını belirler. Baş grup elementleri için Lewis simgesinde görülen nokta sayısı, yani değerlik elektronları sayısı *s*-bloğu elementlerinde grup numarasına ve *p*-bloğu elementlerinde de "grup numarasının 10 eksiğine" eşittir.

Çözüm

(a) Bunlar grup 15 elementleridir. Hepsi de *beşer* değerlik elektronuna (ns^2np^3) sahiptirler. Hepsinin Lewis simgesinde *beş* nokta vardır.



(b) Al grup 13 de; iyot (I) grup 17 de; Se grup 16 da; Ar grup 18 dedir.



Değerlendirme

Bu örnek, çok basit olmasına rağmen önemlidir. Değerlik elektronlarının doğru sayılması, kimyasal bağ açısından zorunludur.

ALIŞTIRMA A: Mg, Ge, K ve Ne'un Lewis simgelerini yazınız.

ALIŞTIRMA B: Sn, Br^-, Tl^+ ve S^{2-} için Lewis simgelerini yazınız.

Bu iki örnekte bağ yapmakta kullanılan elektronlardan biri (×) ile, diğeri (•) ile gösterilmiştir. Bu gösterim şekli, bir elektronun iyonik bağlanmada diğerine verildiğini ve kovalent bağlanmada ise bir çift elektronun ortak kullanıldığını belirtmekte kolaylık sağlar. Elektronları birbirinden ayırt etmek mümkün olmadığından, bundan sonra elektronları göstermek için Lewis yapılarında sadece (•) kullanacağız. Lewis kuramına göre iyonları göstermek için, eşitlik (10.1) de yaptığımız gibi, köşeli parantez kullanacağız. İyonun yükü köşeli parantezin üstünde verilecektir.

Bu bölümde üzerinde durduğumuz gibi Lewis'in çalışmaları daha çok kovalent bağlarla ilgilidir. Lewis gösterimi iyonik bağlara da uygulanabilir. Bu uygulamayı bir sonraki başlıkta kısaca göstereceğiz.

İyonik Bileşiklerin Lewis Yapıları

Kesim 3-2 de öğrendiğimiz gibi, iyonik bir bileşiğin birim formülü, bileşiği oluşturan katyon ve anyonların, bileşiğin elektriksel yükünü nötür yapacak bir toplamıdır. Buradan bileşiğin kimyasal formülünü bulabiliriz. Sodyum klorürün Lewis yapısı (Şekil 10.1), formül birimini gösterir. Baş grup elementlerinin iyonik bileşiğinde, (1) değerlik elektronlarının hepsi diğer atoma aktarılmış ise, metal iyonunun Lewis simgesinde nokta yoktur ve (2) bileşikte hem katyon hem de anyonun yükü gösterilir. Bunlar Örnek 10-2 de daha ayrıntılı olarak verilmiştir.

◀ Hiç bir bağ %100 iyonik değildir. Bütün iyonik bağlar bir miktar kovalent karaktere sahiptir.

ÖRNEK 10-2 İyonik Bileşiklerin Lewis Yapılarının Yazılması

Yanda verilen bileşiklerin Lewis yapılarını yazınız: (a) BaO; (b) $MgCl_2$; (c) alüminyum oksit.

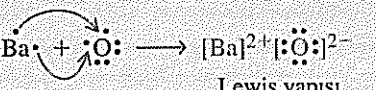
Analiz

Burada yapacağımız iş, her atomun soygaz elektron dağılımına ulaşmak için kaç elektron kazanacağını ya da kaybedeceğini belirleyip Lewis simgesini yazmaktır.

(devamı ediyor)

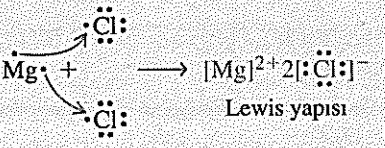
Çözüm

(a) Ba iki elektron verir. O iki elektron alır.



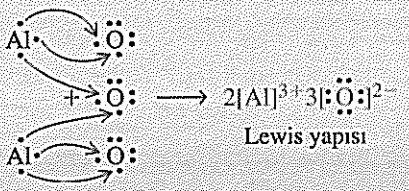
Lewis yapısı

(b) Bir Cl atomunun yedi tane değerlik elektronu olduğundan sadece bir elektron alabilir. Bu bir elektron ile oktetini tamamlar. Buna karşın Mg atomu, neonun soygaz elektron dağılımına benzemek için iki elektron vermelidir. Bu nedenle her bir Mg atomu için iki Cl atomu gereklidir.



Lewis yapısı

(c) Aluminyum oksidin formülünün önceden verilmesine gerek yoktur. Formülü, yazacağımız Lewis yapısından çıkarabiliriz. Üç elektron veren Al atomuyla iki elektron alan O atomu bir araya gelince, verilen elektronda bir fazlalık olur. Alınan ve verilen elektronların eşit olması, formül biriminde *iki* Al ve *üç* O olmasıyla sağlanır.



Lewis yapısı

Değerlendirme

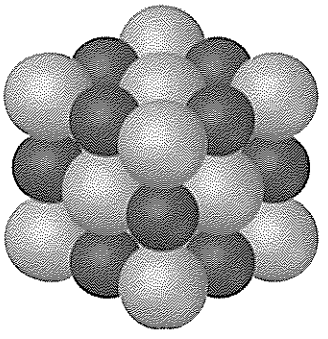
Eğer bileşiği oluşturan iyonların birleşme oranlarını bilmezsek, iyonik bileşiklerin Lewis yapılarını yazmamız neredeyse olanaksızdır. İyonik bileşiklerin yapıları, Lewis yapıları ile önerilenden çok daha karmaşıktır. Bunu, Şekil 10-1 de verilen NaCl bileşiğinin yapısından da görebiliriz.

ALIŞTIRMA A: (a) Na_2S ve (b) Mg_3N_2 için olası Lewis yapılarını yazınız.

ALIŞTIRMA B: (a) Kalsiyum iyodür, (b) baryum sülfür, (c) lityum oksit için olası Lewis yapılarını yazınız.

Örnek 10-2 de gösterilen bileşikler tek atomlu katyon ve tek atomlu anyonlardan oluşan *ikili iyonik bileşikler*dir. Sık karşılaşılan *üçlü iyonik bileşikler* genellikle *tek* atomlu ve *çok* atomlu iyonlardan oluşur. Çok atomlu iyonlar arasındaki bağlanma kovalenttir. Bazı üçlü iyonik bileşikleri bu bölümün ilerleyen kısımlarında göreceğiz.

Gaz halinde iyon çifti halinde bulunan Na^+Cl^- gibi istisnalar dışında, katı iyonik bileşiklerin formül birimleri bağımsız olarak bulunmaz. Bunun yerine, her katyon anyonlarla ve her anyon katyonlarla çevrilmiş olarak bulunur. Çok fazla sayıdaki bu iyonlar *iyonik kristal* (Şekil 10-1) adı verilen düzgün bir örgü içinde sıralanmışlardır. İyonik kristallerin oluşumuyla meydana gelen enerji değişimlerini ve iyonik kristallerin yapılarını Bölüm 12 de göreceğiz.



▲ ŞEKİL 10-1
İyonik bir kristal parçası
Bu yapı, Na^+ ve Cl^- iyonlarının her yöne art arda sıralandığı sayısız iyondan oluşur.

10-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Grup 16 elementlerinin Lewis simgelerinde kaç adet değerlik elektronu bulunur? Kükürt atomunun doğru Lewis simgesi aşağıdakilerden hangileridir?



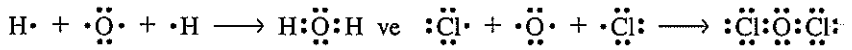
10-2 Kovalent Bağlanma: Giriş

Klor atomunun elektron ilgisinden (−349 kJ/mol) görüldüğü üzere, klor elektron alma eğilimindedir. Acaba klor atomu, sodyum ve hidrojen atomlarının hangisinden daha kolay elektron koparır? İki atom da kendiliğinden elektron vermez, ancak sodyumdan elektron koparmak için gereken enerji (I_1 = 496 kJ/mol), hidrojenden koparmak için gerekenden (I_1 = 1312 kJ/mol) oldukça küçüktür. Bölüm 9 da bir elementin iyonlaşma enerjisi ne kadar küçükse o kadar fazla metalik özellik gösterdiğini görmüştük. Buradan, *sodyumun hidrojenden çok daha fazla metal* olduğu sonucunu çıkarabiliriz (Şekil 9-12). Gerçekte ise hidrojen *metal değildir. Gaz halindeki bir* hidrojen atomu elektronunu ametal bir atoma *vermez.* Hidrojen ve klor atomları arasındaki bağlanma, elektronların ortaklanmasıyla olur. Bu ortaklanma sonucu *kovalent bağ* oluşur.

Elektronların ortaklanmasını vurgulamak için HCl molekülünün Lewis yapısına bir göz atalım.



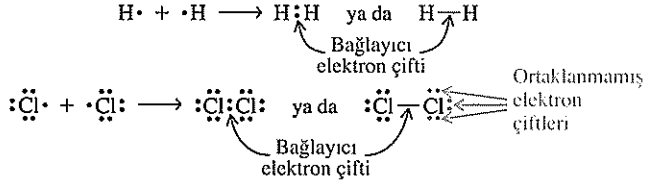
Buradaki kesik çizgiler bu atomların en dış elektron kabuklarını göstermektedir. Her bir halkadaki nokta sayısı bu değerlik kabuğundaki elektronların bağlanmadan sonraki sayısını belirtmektedir. Burada hidrojen atomunun, helyumun elektron dağılımında olduğu gibi iki elektronu vardır. Klor atomunun sekiz elektronu onun argonun dış kabuk elektron dağılımına benzediğini gösterir. H ve Cl arasındaki iki elektronu (:) *iki kez* saydığımıza dikkat ediniz. Bu elektronlar H ve Cl atomları tarafından ortaklanmıştır. Ortaklanan bu elektron çifti kovalent bağı oluşturur. Lewis yapıları ile ilgili diğer bazı örnekler şunlardır:



◀ H_2O ve Cl_2O için yazılan Lewis yapılarında bu moleküller doğrusalmış gibi görünürler; oysa öyle değildir. Çünkü Lewis kuramı molekül geometrisinin ne olacağı sorusuna yanıt vermez (Kesim 10-7).

HCl molekülündeki Cl atomunda olduğu gibi, H_2O nun ve Cl_2O nin Lewis yapılarındaki O atomu sekiz elektron tarafından çevrelenmiştir (bağlayıcı çift elektronlar ikişer sayıldığında). Sekiz elektrona ulaşan O atomu **oktet kuralını** sağlamıştır. Bu kural, Lewis yapılarında atomların değerlik kabuğu elektronlarının sayısının sekiz olması gerektiğini söyler. H atomunun bu kuralın bir istisnası olduğuna dikkat ediniz. Bu atomun sadece iki değerlik kabuğu elektronu olabilir.

Lewis kuramı element halindeki hidrojen ve klorun neden iki atomlu moleküller yani H_2 ve Cl_2 halinde bulunduğunu anlamamıza da yardım eder. Bunların her birinde bir çift elektron iki atom tarafından ortaklanılmıştır. Bir çift elektronun iki atom tarafından ortaklanılması ile bir tane **tekli kovalent bağ** oluşur. Lewis kuramında elektron çiftlerinin önemini vurgulamak amacıyla, kovalent bağdaki elektron çiftleri için **bağlayıcı elektron çifti** ve bağ oluşumuna katılmayan elektron çiftleri için de **ortaklanmamış elektron çifti** terimlerini kullanacağız. Elektron çiftlerini, özellikle de bağlayıcı çiftleri, bağ anlamında (—) ile göstermek yaygın bir uygulamadır. Bunlar aşağıdaki Lewis yapılarında gösterilmiştir.



Koordine Kovalent Bağlar

Lewis bağ kuramı, bir çift elektronun ortaklanılmasını kovalent bağ olarak tanımlar. Ancak bu tanım, bağ oluşumuna her atomun bir elektronla katkıda bulunduğu anlamına gelmez. Ortaklanılan elektron çiftinin her ikisinin de tek *bir atomdan* geldiği kovalent bağa **koordine kovalent bağ** denir.

ÖRNEK 10-3 Basit Lewis Yapılarının Yazılması

Amonyak molekülünün, NH_3, Lewis yapısını yazınız.

Analiz

Lewis yapısını yazmak için atomların değerlik elektronlarının sayısını bilmeliyiz.

Çözüm

Değerlik elektronları, aşağıda atomların Lewis simgelerinde belirtilmiştir.

$$H\cdot \quad H\cdot \quad H\cdot \quad \cdot\ddot{N}:$$

Şimdi bir tane N ve üç tane H atomunu bir araya getirebiliriz. Bunu yaparken N atomunun oktetini, H atomlarının da dubletini (He atomunun elektron dizilimi) tamamlarız.

$$H:\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\ddot{N}}}:$$

Değerlendirme

Oktet kuralının uygulanması, amonyağın doğru Lewis yapısını yazmamızı sağlar; ancak, ileride göreceğimiz gibi pek çok molekül oktet kuralına uymaz.

ALIŞTIRMA A: Br_2, CH_4 ve HOCl bileşiklerinin Lewis yapılarını yazınız.

ALIŞTIRMA B: NI_3, N_2H_4 ve C_2H_6 bileşiklerinin Lewis yapılarını yazınız.

Örnek 10–3 de verilen NH_3 molekülünün Lewis yapısına dördüncü bir H atomu bağlamaya çalışırsak, önemli bir güçlükle karşılaşırız. Dördüncü H atomunun elektronu ile N atomu etrafındaki değerlik elektronlarının toplam sayısı *dokuza* ulaşacağından oktet kuralı artık geçersiz olur. Bu nedenle NH_4 *molekülü* oluşmaz. Ancak Şekil 10-2 de gösterildiği gibi bir *amonyum iyonu*, NH_4^+, oluşturmak olasıdır. Bunun için NH_3 molekülü, üzerindeki ortaklanmamış elektron çifti yardımı ile, HCl molekülünden bir H atomunu, H—Cl bağındaki elektronların ikisi de Cl atomunda kalacak şekilde koparır. Bunun sonucunda, bir H^+ iyonu NH_3 molekülü ile birleşerek NH_4^+ iyonunu meydana getirmiş olur.

$$\left[H:\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\ddot{N}}}:H\right]^+ \qquad (10.5)$$

Şekil 10-2 de gösterildiği gibi, H — Cl bağının Cl atomunda kalan elektron çifti de bu atomu Cl^- iyonuna dönüştürür.

NH_3 bileşiğinin N atomu ile H^+iyonu arasında oluşan bağ (10.5) bir *koordine kovalent bağdır*. Bununla birlikte, bağ oluştuktan sonra dört N—H bağından hangisinin koordine kovalent bağ olduğunu söyleyemek mümkün değildir. Bu nedenle koordine kovalent bağ normal kovalent bağdan ayırt edilemez.

Koordine kovalent bağa başka bir örnek, bildiğimiz hidronyum iyonunda bulunur.

$$\left[H:\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle \cdot\cdot}{\ddot{O}}}:H\right]^+ \qquad (10.6)$$

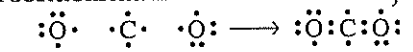
▶ ŞEKİL 10-2
Amonyum iyonunun, NH_4^+, oluşumu
HCl molekülünün H atomu, elektronunu Cl atomuna bırakarak H^+ haline gelir ve N atomu üzerindeki ortaklanmamış elektron çiftini kullanarak NH_3 molekülüne bağlanır. Böylece, NH_4^+ ve Cl^- iyonları oluşur.

$$H:\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\ddot{N}}}: \;\rightarrow\; H:\ddot{Cl}: \longrightarrow \left[H:\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\ddot{N}}}:H\right]^+ + \left[:\ddot{Cl}:\right]^-$$

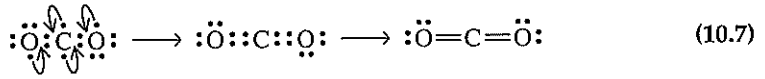
Katlı Kovalent Bağlar

Yukarıda tanımladığımız Lewis modelinde, kovalent kimyasal bağlanmada tekli bir kovalent bağı oluşturmak için iki atom arasında bir elektron çifti kullandık. Ancak çoğu kez, bir atomun oktete (soygaz elektron dağılımı) ulaşabilmesi için birden fazla elektron çiftine gereksinimi olabilir. İki atom arasında birden fazla elektron çiftinin ortaklandığı CO_2 ve N_2 bu duruma örnek verilebilir.

Bunun için ilk olarak Lewis yapıları hakkındaki bilgilerimizi CO_2 molekülüne uygulayalım. Öncelikle C atomunun Lewis nokta formülünde bulunan dört elektrondan ikisi, iki tane O atomunun birer değerlik elektronunu paylaşır ve bunun sonucunda iki tane karbon-oksijen tekli bağı oluşur.



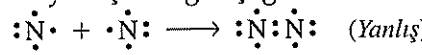
Ancak bu durumda C atomunun ve her iki O atomunun oktetleri tamamlanmamıştır. Bu sorun, bağ çevresindeki ortaklanmamış elektronların küçük oklarla gösterildiği şekilde bağ bölgesine kaydırılması ile çözülebilir.



(10.7)

Bu Lewis yapısında (10.7), bağları oluşturan atomların kendi aralarında *ikişer çift* elektronlarını (toplam dörder elektron) ortaklaşa kullanarak birer **ikili kovalent bağ** (=) oluşturduğu görülmektedir.

Şimdi N_2 molekülünün Lewis yapısını yazmaya çalışalım. İlk olarak tekli kovalent bağ içeren ve yanlış olduğu aşağıda belirtilen yapıyı yazalım.



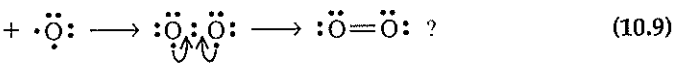
Yukarıdaki gösterimde her bir N atomunun sekiz yerine sadece *altı* dış kabuk elektronu olduğu ve oktetinin tamamlanmadığı görülmektedir. Azot atomları üzerindeki dört ortaklanmamış elektronu N atomları arasındaki bölgeye kaydırıp, bunlardan bağlayıcı çiftler oluşturarak, bu yanlışlığı düzeltebiliriz. Sonuçta, N atomları arasında *üç* çift elektronun ortaklaşa kullanıldığını ve bu şekilde oktetlerin tamamlandığını görürüz. N_2 deki N atomları arasındaki bağ bir **üçlü kovalent bağ** (≡) dır. İkili ve üçlü kovalent bağlar **katlı kovalent bağlar** olarak bilinir.



(10.8)

N_2 deki üçlü kovalent bağ, bir kimyasal tepkimede parçalanması güç olan kuvvetli bir bağdır. Bu bağın aşırı kuvvetli olması, $N_2(g)$ gazının oldukça inert olmasına neden olur. Bunun için, atmosferde $N_2(g)$ ile $O_2(g)$ bir arada bulunurlar ve azot oksitleri sadece yüksek sıcaklıklarda eser miktarlarda oluşabilirler. N_2 un O_2 ne karşı etkin olmaması yeryüzünde yaşam için temel bir koşuldur. $N_2(g)$ nin inert olması azot bileşiklerinin sentezini de güçleştirir.

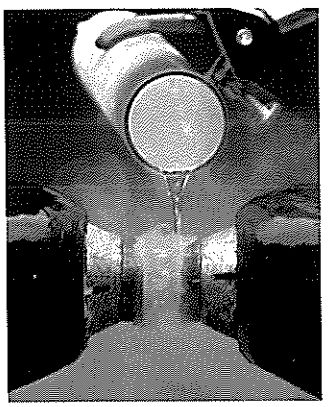
Lewis yapısı katlı bağ (ikili bağ) olan bir diğer molekül O_2 dir.



(10.9)

Yukarıda mavi renkle yazılan soru işareti (10.9), bu yapının doğruluğu hakkında bazı kuşkular olduğunu göstermek içindir. Bu kuşkunun nedeni, Şekil 10-3 de gösterildiği gibi, oksijenin paramanyetik olmasıdır. Oysa (10.9) da verilen yapı oksijenin *paramanyetik* oluşunu açıklayamamaktadır. *Paramanyetik*lik için O_2 molekülünün *eşleşmemiş* elektronları olması gerekir. Ne yazık ki, O_2 için tam tatmin edici bir Lewis yapısı yazmak mümkün değildir. Ancak, Bölüm 11 de O_2 molekülündeki bağlanmayı hem ikili bağı esas alan *hem de* O_2 nin deneysel olarak gözlenen paramanyetikliğini açıklayan bir başka kuram ile göstereceğiz.

Bu kesimde verilen bilgileri uygulamaya devam edeceğiz. Ancak Kesim 10-3 de öğreneceğimiz bir dizi yeni kavram ile uygun Lewis yapıları yazma deneyimimiz daha da artacaktır.



▲ ŞEKİL 10-3
Oksijenin paramanyetikliği
Sıvı oksijen büyük bir mıknatısın manyetik alanına doğru çekilir.

UNUTMAYINIZ

Sadece uygun Lewis yapısını yazmak doğru elektron yapısını göstermeye yetmez. Deneysel verilerle de doğrulanması gerekir.

10-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

BF_4^- iyonundaki kimyasal bağları açıklayabilmek için hangi bağ türleri kullanılabilir?

10-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Periyodik çizelgenin hangi gruplarındaki elementler katlı bağlar oluşturma eğilimindedir?

10-3 Polar Kovalent Bağlar ve Elektrostatik Potansiyel Haritaları

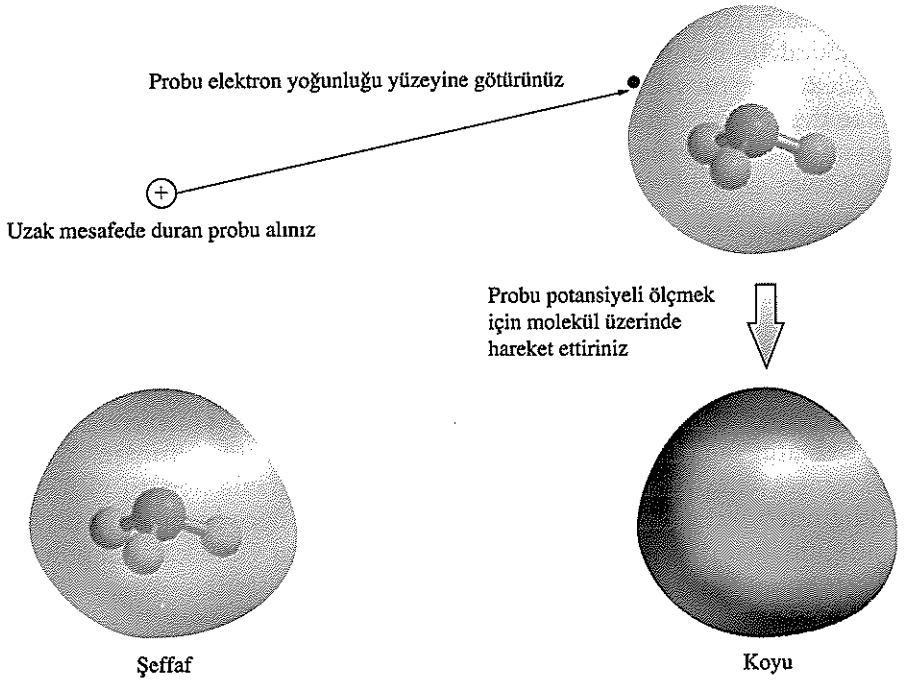
İyonik ve kovelent bağları sanki birbirlerinden tamamen farklı iki tür bağ gibi açıkladık. İyonik bağlar elektronların *tamamen aktarılması*yla oluşurken, kovalent bağlar elektron çiftlerinin *eşit ortaklanması*yla oluşurlar. Kimyasal bağların çoğu, %100 kovalent bağ ile %100 iyonik bağ arasında yer almaktadır. Elektronların iki atom arasında eşit olmayan ortaklanmasıyla oluşan kovalent bağa **polar kovalent bağ** denir. Böyle bir bağda elektronlar daha çok ametal element tarafında kalır. Elektronların eşit paylaşılmaması, daha fazla ametal özelliği gösteren elementin atomu üzerinde $\delta-$ ile belirtilen kısmi negatif yük birikmesine ve daha fazla metal özelliği gösteren elementin atomu üzerinde $\delta+$ ile gösterilen ve negatif yüke tam karşılık gelen kısmi pozitif yük birikmesine neden olur. HCl polar bağın yük dağılımını, Lewis yapısı üzerindeki kısmi pozitif yükle ($\delta+$) ve kısmi negatif yükle ($\delta-$) gösterebiliriz. Bu yükler bağ elektronlarının, H atomundan ziyade, Cl atomu tarafında yoğunlaştığını gösterir.

$$^{\delta+}\mathrm{H}:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{Cl}}}:^{\delta-}$$

Ucuz ve hızlı bilgisayarların üretilmesi, moleküllerin elektron dağılımlarını hesaplamak için kimyacıların yeni yöntemler geliştirmelerine yardımcı olmuştur. Bu dağılım ilkesel olarak, bir molekülün Schrödinger denkleminin çözümünden elde edilir. Her ne kadar çözümlerde yaklaştırma yöntemleri kullanılsa da, bu çözümler bir molekül içinde yük dağılımının nasıl olduğunu gösteren bir **elektrostatik potansiyel haritası** verir.

Bu haritaları incelemeye başlamadan önce, Bölüm 8 de verilen yük yoğunluğu ya da elektron yoğunluğu ifadelerine yeniden bir göz atalım. Bölüm 8 de, atomlardaki elektronların davranışlarını orbitaller denen matematiksel fonksiyonlarla tanımlayabileceğimizi gördük. Elektronun bir orbitalde bulunma olasılığı atom orbitali fonksiyonunun karesi ile verilir. Bir orbital, elektronun %95 olasılıkla bulunduğu bölge olarak gösterilir. Tek bir orbitalin elektron yoğunluk haritasını çizebildiğimiz gibi, tüm molekülün elektron yoğunluk haritasını da çizebiliriz. Şekil 10.4 de amonyağın yük yoğunluğunun %95 ini içeren elektron yoğunluk yüzeyi verilmiştir.

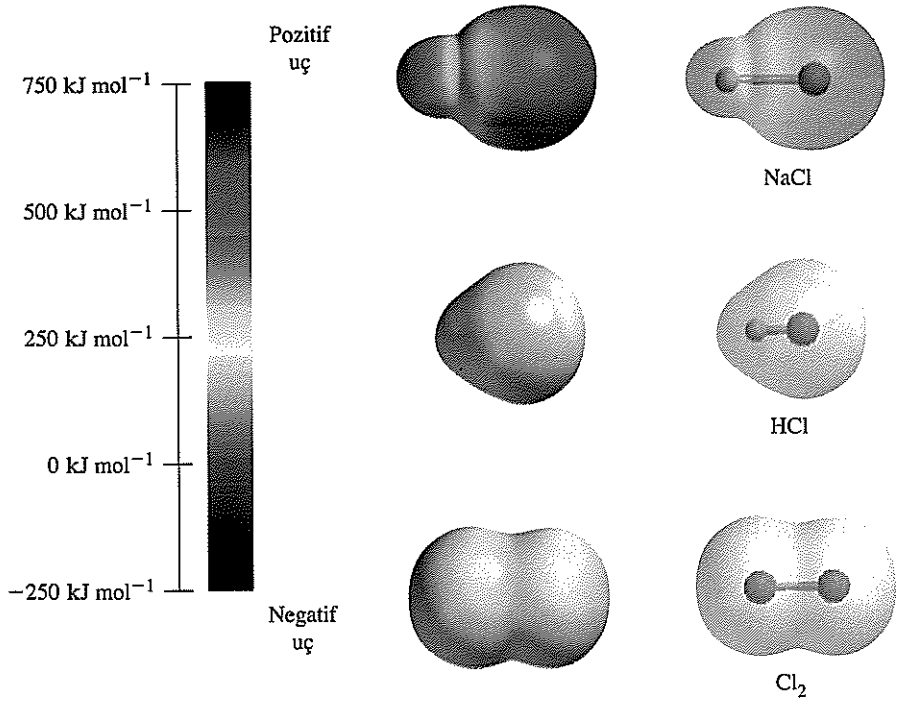
Elektrostatik potansiyel, bir birimlik pozitif yükün molekülün bir bölgesinden başka bir bölgesine sabit hızla taşınması sırasında yapılan iştir. Elektrostatik potansiyel haritasının, elektronca yoğun yüzeyin pozitif bir noktasal yük ile taranmasından elde edildiği varsayılır. Pozitif nokta yük, elektronca zengin bölgeye (tüm çekirdek ve elektronların yükleri dikkate alındığında negatif yükü en fazla olan bölge) getirildiğinde elektrostatik potansiyel *negatif* olur. Aksine, pozitif nokta yük elektronca fakir, yani pozitif yük fazlalığı olan bölgeye götürüldüğünde, itilir ve elektrostatik potansiyel *pozitif* olur. Amonyağın elektron yoğunluk dağılımını gösteren elektrostatik potansiyel haritası Şekil 10-4 de çizilmiştir.



◀ ŞEKİL 10-4
Amonyağın elektrostatik potansiyel haritasının belirlenmesi
Bir molekülün yük yoğunluğu yüzeyinin herhangi bir noktasındaki elektrostatik potansiyel, moleküle sonuz uzaklıktaki bir birim pozitif yükün bu noktaya getirilmesi için gerekli olan enerji değişimidir. Amonyak molekülünü kaplayan yüzey, Bölüm 8 de anlatılan, elektron yük yoğunluğunun %95 ini kapsayan atom orbitallerine benzer. Elektrostatik potansiyel haritası, bu alan içindeki elektron yükü dağılımı hakkında bilgi vermektedir.

Elektrostatik potansiyel haritası, bir moleküldeki elektron yük dağılımı hakkında bilgi verir. Örneğin, nötür bir molekülde bir noktadaki potansiyel pozitif ise, bu noktadaki atom net bir pozitif yük taşımaktadır. Elektrostatik potansiyel haritasını göstermek için "gökkuşağı" renginde bir şema uyarlanmıştır. En pozitif elektrostatik potansiyel bölgeleri için mavi, en negatif elektrostatik potansiyel bölgelerini göstermek için de spektrumun düşük enerjili kırmızı rengi kullanılmıştır. Ara renkler, elektrostatik potansiyelin ara değerlerini simgeler. Böylece, Şekil 10-5 deki ölçekte görüldüğü gibi potansiyel kırmızıdan, sarıyı geçerek maviye doğru artar. Örneğin, Şekil 10-4 de hidrojen atomlarını saran mavi-yeşil renk, az miktar pozitif yük taşıdıklarını gösterir. Buna karşılık kırmızı bölgeye yakın olan azot atomu net bir negatif yük taşımaktadır. NaCl, Cl_2

◀ Elektrostatik potansiyel, bir birimlik pozitif yükün molekülün bir bölgesinden başka bir bölgesine sabit hızla hareket ettirildiğinde yapılan işe eşittir.



◀ ŞEKİL 10-5
Sodyum klorür, hidrojen klorür ve klor moleküllerinin elektrostatik potansiyel haritaları
Elektrostatik potansiyel haritasındaki koyu kırmızı ve koyu mavi renkler, ilgili molekülün negatiften pozitife doğru değişen elektrostatik potansiyelinin uç değerlerine karşılık gelir. Farklı moleküller karşılaştırıldığında güvenilir sonuçlar almak için, karşılaştırılan tüm moleküllerin elektrostatik potansiyellerindeki uç değerler (kJ/mol biriminde) aynı olmalıdır. Burada görülen haritalardaki değerler, −250 kJ/mol ile 750 kJ/mol aralığındadır.

ve HCl bileşiklerinin hesapla bulunmuş elektrostatik potansiyel haritalarına (Şekil 10-5) bir göz atalım. Cl_2 molekülünün tek bir renkle ifade edilen elektron yük yoğunluğunun her bölgede aynı olduğu, elektrostatik potansiyel haritasından görülmektedir. Klor molekülü, aynı cins atomlardan oluşan iki atomlu polar olmayan moleküllere tipik bir örnektir. Oysa NaCl bileşiği, tek renkle gösterilemeyen elektron yük yoğunluğu dağılımına sahiptir. Pozitif yüklü sodyum atomu mavi uçta ve negatif yüklü klor atomu kırmızı uçta gösterilir. Bu elektrostatik potansiyel haritası iyonik bağlar için tipiktir. Bununla birlikte, haritadan da görüldüğü gibi Na atomundan Cl atomuna elektron transferi tam olarak gerçekleşmemiştir. Diğer bir ifadeyle, NaCl bağı tamamen iyonik değildir. Deneyler NaCl formülünün sadece %80 iyonik olduğunu göstermiştir. HCl molekülü de simetrik olmayan elektron yük yoğunluğuna sahiptir ve bu durum elektrostatik potansiyel haritasında renk tonları ile belirtilmiştir. Ancak, Cl atomu çok koyu kırmızı değildir. Bu da onun fazla negatif yük taşımadığının belirtir. Turuncu-kırmızı renk onun sadece kısmi negatif yük taşıdığını gösterir. Hidrojen atomu da kısmi pozitif yüke karşılık gelecek şekilde solgun mavi renktedir. Sonuç olarak, elektrostatik potansiyel haritası HCl bağının polar olduğunu açıkça göstermektedir.

Elektronegatiflik

Biz H-Cl bağının polar olmasını bekleriz: çünkü Cl atomunun elektron ilgisi, H atomunun elektron ilgisinden daha büyüktür. Elektron ilgisi bir atom özelliğidir; ancak bağ polarlığı gibi molekül özelliklerinin belirlenmesinde, atomların bağımsız oldukları haller değil, bir molekül içinde bulunduğu durum göz önüne alınır.

Elektronegatiflik (EN) bir atomun bağlı olduğu diğer atomlardan elektron çekme yeteneğidir. Elektronegatifik, bu bakımdan iyonlaşma enerjisi ($\dot{I}$) ve elektron ilgisi ($E\dot{I}$) ile ilgilidir. Bu ilişkiyi anlamak için, A^+B^- veya A^-B^+ ürünlerini veren iki A ve B elementini düşünelim. Bunların iki farklı tepkimesini yazalım.

$$A + B \longrightarrow A^+B^- \qquad \Delta E_1 = (I_A + E\dot{I}_B) \tag{10.10}$$

$$A + B \longrightarrow A^-B^+ \qquad \Delta E_2 = (I_B + E\dot{I}_A) \tag{10.11}$$

Bu varsayımsal yapılarda, bağ yapıcı elektronlar yaklaşık olarak eşit paylaşılsaydı, A^+B^- veya A^-B^+ türlerinden hiçbiri birbirine üstün olmayacak ve dolayısıyla $\Delta E_1 = \Delta E_2$ olmasını bekleyecektik. Oluşan bağı apolar kabul edersek, bu durumda;

$$(I_A + E\dot{I}_B) = (I_B + E\dot{I}_A)$$

yazabiliriz. Her bir atomun terimleri aynı tarafta toplanırsa şu ifade

$$(I_A - E\dot{I}_A) = (I_B - E\dot{I}_B) \tag{10.12}$$

yazılabilir. Eşitlik (10.12), bağı oluşturan iki atomun iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi arasındaki farkların eşit olması durumunda apolar bağın meydana geleceğini göstermektedir. $(I - E\dot{I})$ farkı, bağı oluşturan atomlardan birinin diğerine göre elektronları (veya elektron yük yoğunluğunu) çekebilme eğiliminin bir ölçüsüdür. Daha açık bir deyişle, bir atomun elektronegatifliği;

$$EN_A \propto (I_A - E\dot{I}_A)$$

bağıntısına dayanır. Flor atomunun iyonlaşma enerjisi büyüktür ve elektron ilgisi de sayısal olarak büyük olup negatif değerdedir. Buna karşı-

1	2											13	14	15	16	17
H 2.1																
Li 1.0	Be 1.5											B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0
Na 0.9	Mg 1.2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0
K 0.8	Ca 1.0	Sc 1.3	Ti 1.5	V 1.6	Cr 1.6	Mn 1.5	Fe 1.8	Co 1.8	Ni 1.8	Cu 1.9	Zn 1.6	Ga 1.6	Ge 1.8	As 2.0	Se 2.4	Br 2.8
Rb 0.8	Sr 1.0	Y 1.2	Zr 1.4	Nb 1.6	Mo 1.8	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.2	Pd 2.2	Ag 1.9	Cd 1.7	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5
Cs 0.8	Ba 0.9	La–Lu*	Hf 1.3	Ta 1.5	W 2.4	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.2	Pt 2.2	Au 2.4	Hg 1.9	Tl 1.8	Pb 1.8	Bi 1.9	Po 2.0	At 2.2
Fr 0.7	Ra 0.9	Ac–Lr†														

küçük 1.0 | 1.0–1.4 | 1.5–1.9 | 2.0–2.4 | 2.5–2.9 | 3.0–4.0

*Lantanitler: 1.1–1.3
†Aktinitler: 1.3–1.5

▲ ŞEKİL 10-6
Elementlerin elektronegatiflikleri
Genel olarak, elektronegatiflikler bir grupta yukarıdan aşağıya doğru *azalır*, bir periyotta soldan sağa doğru *artar*. Burada verilen değerler L. Pauling'in "*The Nature of the Chemical Bond*, 3rd edition, Cornell University, Ithaca, NY, 1960, p. 93" den alınmıştır. Bu değerler başka eşellerde biraz farklı olabilir.

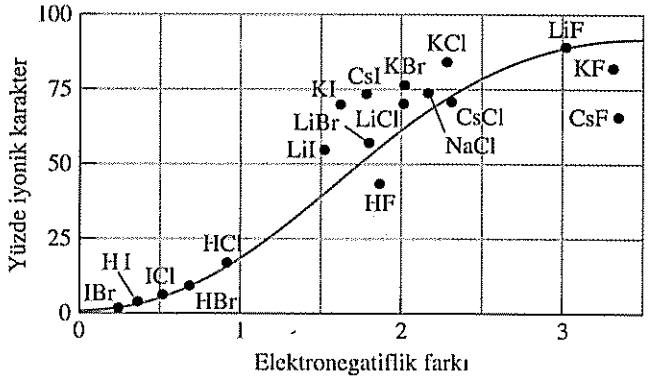
lık, sodyumun iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi küçüktür. Bu verilere göre, florun elektronegatifliği sodyum atomuna göre çok büyük olacaktır.

Elementlerin nitel olarak elektronegatiflik karşılaştırılmasının, gerçek sayısal değerlere dönüştürülmesi için birkaç yöntem mevcuttur. Yaygın olarak kullanılan ve Şekil 10-6 da sayısal değerleri verilen bir elektronegatiflik eşeli Linus Pauling (1901–1994) tarafından önerilmiştir. Bu eşele göre EN değerleri 0,7 ile 4,0 arasında değişir. Genellikle EN ne kadar küçükse element o kadar metal, ne kadar büyükse o kadar ametaldir. Şekil 10-6 da elektronegatifliğin periyodik çizelgede bir grupta yukarıdan aşağıya doğru azaldığını ve bir periyotta soldan sağa doğru arttığını görebiliriz. Bu eğilimler, elektronegatifliği, *I-Eİ* olarak yorumladığımızda beklenen bir durumdur. Başka bir ifadeyle, iyonlaşma enerjisi (*I*) bir periyot boyunca arttığından, elektronegatifliğin de artması beklenir. Elektronegatiflik ve elektron ilgisi arasındaki farkı, F atomunun (–328 kjmol^{-1}) ve Cl atomunun (–349 kjmol^{-1}) elektron ilgilerini dikkate aldığımızda açıkça görebiliriz: Klorun elektron ilgisinin (-349 kjmol^{-1}) florun elektron ilgisinden (-328 kjmol^{-1}) daha negatif olmasına karşın, klorun *EN* değeri (3,0), florun EN değerinden (4,0) daha küçüktür. Bunun nedeni, klorun iyonlaşma enerjisinin (1251 kjmol^{-1}) florun iyonlaşma enerjisinden (1681 kjmol^{-1}) daha düşük olmasıdır.

10-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki element gruplarında hangi elementin en elektronegatif olduğuna, yalnızca periyodik çizelgeden yararlanarak karar veriniz; **(a)** As, Se, Br, I; **(b)** Li, Be, Rb, Sr; **(c)** Ge, As, P, Sn

Bir kovalent bağın ne kadar polar olduğunu, bağlı atomların EN değerleri arasındaki farkın mutlak değeri olan **elektronegatiflik farkı (ΔEN)** değerlerinden anlayabiliriz. Eğer iki atomun ΔEN değeri çok küçükse, bunlar arasındaki bağ oldukça kovalenttir; iki atomun ΔEN değeri çok



▶ ŞEKİL 10-7
Bir kimyasal bağda iyonik özelliğin elektronegatiflik farkı ile değişimi

büyükse bağ oldukça iyoniktir. ΔEN değerleri bunların ortasında bir değer ise bağ polar kovalenttir. ΔEN değerleri ile bağın yüzde iyonik karakteri arasındaki ilişki kabaca Şekil 10-7'de verilmiştir.

Metal özelliği büyük olan elemetler ile ametal özelliği büyük olan elementler arasında, büyük EN farkı vardır. Bu elementlerin oluşturduğu bağların oldukça iyonik olması beklenir. İki ametal atomu arasında EN farkı az olduğundan, bunların arasındaki bağın kovalent olması beklenir. Böylece EN değerlerine bakmadan da iki atom arasındaki bağın hangi karakterde olduğunu tahmin edebilmelisiniz. Periyodik çizelgeden yararlanarak, bağ oluşturan elementlerin metal-ametal karakterini kabaca belirleyiniz (Şekil 9-12 ye bakınız). Bağ polarlığının elektronegatiflik ile nasıl değiştiğini elektrostatik potansiyel haritaları üzerinde gör-

▶ Şekil 10-7, benzer iki metal atomu arasındaki bağın kovalent bağ [örneğin, $Li_2(g)$ de olduğu gibi] olması gerektiğini belirtmekle birlikte, *katı* metallerde bağlanma çok fazla sayıda atom içeren bir örgü halindedir ve bu bağlara *metalik* bağlar denir (bir sonraki bölümde incelenecektir).

ÖRNEK 10-4 Elektronegatiflik Farkının ve Bağ Polarlığının Belirlenmesi

(a) H—Cl ve H—O bağlarından hangisi daha polardır?
(b) Bu bağların yüzde iyonik karakterleri nedir?

Analiz

Hangi bağın daha polar olduğuna karar vermek için H, Cl ve O atomlarının Şekil 10-6 daki elektronegatiflik değerlerine bakınız. Daha sonra H–Cl ve H–O bağlarının ΔEN elektronegatiflik farklarını hesaplayınız. Elektronegatiflik farkı daha büyük olan bağ daha polardır. Bağların yüzde iyonik karakterini bulmak için Şekil 10-7'de verilen eğriyi kullanabiliriz.

Çözüm

(a) $EN_H = 2{,}1$; $EN_{Cl} = 3{,}0$; $EN_O = 3{,}5$. H—Cl bağı için $\Delta EN = 3{,}0 - 2{,}1 = 0{,}9$ dur. H—O bağı için $\Delta EN = 3{,}5 - 2{,}1 = 1{,}4$ dür. ΔEN biraz daha büyük olduğu için, H—O bağının daha polar olduğunu söyleyebiliriz.

(b) Şekil 10-7 den yüzde iyonik karakteri bulunuz.

H—Cl bağı: $\Delta EN = 0{,}9$; ≈20% iyonik
H—O bağı: $\Delta EN = 1{,}4$; ≈35% iyonik

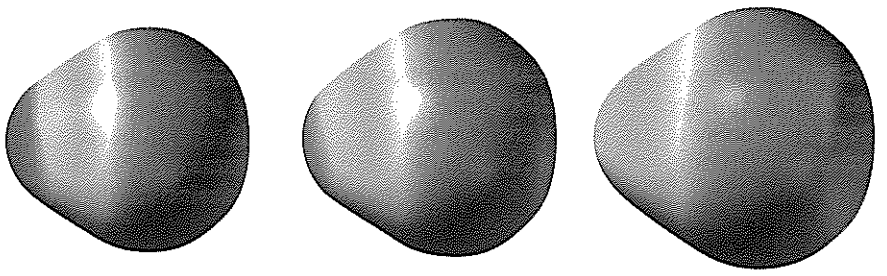
Değerlendirme

Bu örnekte iki bağdan hangisinin daha polar olduğuna karar vermek için EN değerlerini kullandık. Ayrıca EN değerleri, verilen bir bağın hangi ucunun daha negatif olduğuna karar vermek için de kullanılabilir. Örneğin, EN_{Cl}, EN_H değerinden daha büyüktür. Bu nedenle, H—Cl bağının H tarafının biraz daha pozitif ve Cl tarafının daha negatif olacağını söyleyebiliriz.

ALIŞTIRMA A: Şu bağlardan hangisi daha polardır, yani iyonik karakteri daha büyüktür: H—Br, N—H, N—O, P—Cl?

ALIŞTIRMA B: Şu bağlardan hangisi daha polardır: C—S, C—P, P—O ve O—F?

mek için HCl, HBr ve HI moleküllerini ele alalım ve elektrostatik potansiyel haritalarını inceleyelim.



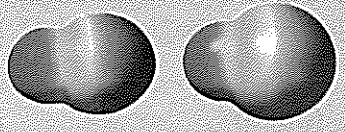
HCl HBr HI

◀ HCl molekülünün elektrostatik yük dağılım haritasının Şekil 15 de görününden daha farklı bir renk dağılımına sahip olduğuna dikkat ediniz. Şekil 15 de NaCl bileşiğinin elektrostatik potansiyel haritası, NaCl ün iyonik karakterinin büyük olmasından dolayı, daha fazla renk dağılımı göstermektedir. Burada ise, HCl'nin elektrostatik potansiyel haritası, HBr ve HI bileşiklerine göre daha iyonik özellik taşıdığından, daha fazla renk dağılımı göstermektedir.

H atomu üzerindeki yük; HCl molekülünde daha pozitif iken HBr ve HI molekülünde daha az pozitiftir. Bu durum, H atomu üzerinde koyu maviden açık maviye doğru renk tonlamasıyla gösterilmiştir. Bu üç moleküldeki yük ayrımında görülen azalma eğilimi Cl, Br ve I atomlarının elektronegatifliğindeki azalmayı gösterir. Buna karşılık, negatif yükteki azalmayı göstermek için Cl atomundan I atomuna doğru kırmızı renkte açılma gözlenir. Elektrostatik potansiyel haritaları, birbiri ile ilişkili molekül gruplarında polaritedeki değişimleri göstermek için iyi bir yöntemdir. Bu ve bundan sonraki bölümlerde elektrostatik potansiyel haritalarını, bir molekülde yük ayrışması söz konusu olduğunda kullanmaya devam edeceğiz.

ÖRNEK 10-5 Elektrostatik Potansiyel Haritaları ve Elektronegatiflik Kullanılarak Molekül Yapısının Aydınlatılması

Aşağıda iki elektrostatik potansiyel haritası görülmektedir. Biri NaF, diğeri NaH bileşiğine aittir. Hangi harita hangi bileşiğe karşılık gelir?



Analiz

Şekil 10-6'da H, F ve Na'un EN değerlerine bakınız ve daha sonra NaH ve NaF bağlarının elektronegatiflik farklarını hesaplayınız. Elektronegatiflik farkı en büyük olan bağ daha polar olacak ve elektrostatik potansiyel haritası daha büyük renk aralığı gösterecektir.

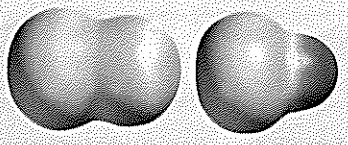
Çözüm

$EN_H = 2{,}1$; $EN_{Na} = 0{,}9$; $EN_F = 4{,}0$. H–Na bağı için $\Delta EN = 2{,}1 - 0{,}9 = 1{,}2$. F–Na bağı için $\Delta EN = 4{,}0 - 0{,}9 = 3{,}1$. NaF bağının ΔEN değeri daha büyük olduğundan, F–Na bağının daha polar olduğunu söyleyebiliriz. Buna göre, soldaki elektron yoğunluk haritasının da NaF bileşiğine ait olduğunu ifade edebiliriz.

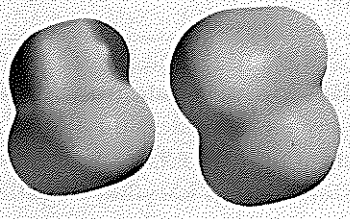
Değerlendirme

NaF ve NaH bileşiklerinin elektrostatik potansiyel haritalarında, NaH bileşiğindeki H atomunun NaF bileşiğindeki F atomundan daha büyük görünmesi garip görülebilir. Her iki molekülün büyük ölçüde iyonik karakterde olduğu hatırlanır ve buna göre iki molekülün elektrostatik potansiyel haritaları, F^- ve H^- iyonları dikkate alınarak karşılaştırma yapılırsa daha uygun olur. Bir çok çalışma NaH bağının %50 – 80 arasında ve NaF bağının %90 civarında iyonik karakterde olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar, katı NaH'deki H^- iyonunun yarıçapının, F^- (133 pm) ve Cl^- (181 pm) yarıçapları arasında olduğuna işaret etmektedir.

ALIŞTIRMA A: Şu elektrostatik potansiyel haritalarından hangisi IF ve hangisi IBr molekülüne karşılık gelir?



ALIŞTIRMA B: Şu elektrostatik potansiyel haritalarından hangisi CH_3OH ve hangisi CH_3SH molekülüne karşılık gelir?



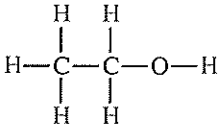
10-4 Lewis Yapılarının Yazılması

Önceki üç kesimde öğrendiğimiz bilgilerin ışığında, şimdi değişik Lewis yapılarını yazabilecek durumdayız. Öğrendiğimiz temel kavramlardan bazılarını aşağıya sıralayalım ve şimdiye kadar karşılaştığımız Lewis yapılarının bazı temel özelliklerini hatırlayalım.

- Bir Lewis yapısında *bütün* değerlik elektronları gösterilmelidir.
- Lewis yapılarında bütün elektronlar *genellikle* eşleşmiştir.
- *Genellikle* her atom en dış kabuğunda, oktet elektronlarına ulaşır. Ancak hidrojende dış kabuk elektronları iki olur.
- *Bazen* katlı kovalent bağlara (ikili veya üçlü bağlara) gerek duyulur. Katlı kovalent bağlar C, N, O, P ve S atomları tarafından daha kolay oluşturulur.

İskelet Yapıları

Lewis yapılarının yazılmasında **iskelet yapısının** belirlenmesi bir başlangıç noktasıdır. Bu yapı atomların bağ oluşturmak için hangi sırayla bir araya geldiklerini gösterir. İkiden fazla atomdan oluşan bir iskelet yapısında merkez atomunun ve uç atomların hangileri olacağının belirlenmesi yararlı olur. Bir **merkez atomu** iki ya da daha fazla atoma bağlandığı halde, **uç atomu** sadece bir başka atoma bağlıdır. Örnek olarak etanole, CH_3CH_2OH, bakalım. Bunun iskelet yapısı aşağıdaki yapı formülüyle aynıdır. Bu yapıda *merkez atomları* (hem C atomları hem de O atomu) kırmızı renkli, *uç atomları* (altı H atomunun hepsi) ise mavi renkli yazılmıştır.

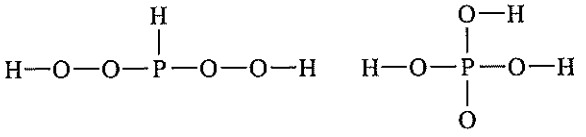


(10.13)

İç merkez atomları, uç atomları ve iskelet yapıları hakkında bazı ek bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

- *Hidrojen atomları her zaman uç atomlarıdır.* Çünkü H atomu değerlik kabuğunda sadece iki elektron bulundurabileceği için, başka bir atom ile ancak bir bağ yapabilir. (Bazı bor–hidrojen bileşiklerinde bunun istisnaları vardır.)

- *Merkez atomları genellikle elektronegatiflikleri en düşük olanlardır.* Yukarıdaki (10.13) iskelet yapısında H atomları en az elektronegatif (EN = 2,1) olmakla birlikte, az önce belirttiğimiz gibi sadece uç atomları olabilir. Karbon atomlarının elektronegatifliği (EN = 2,5) bu değere en yakın değerdir ve karbonlar merkez atomları olmalıdır. Elektronegatifliği en yüksek (EN= 3,5) olduğu halde O atomu merkez atomudur. O atomunun yukarıdaki (10.13) yapıda uç atomu olabilmesi için H atomu ile yer değiştirmesi ve H atomunun merkez atomu olması gerekir, ancak bu mümkün değildir. O atomlarının merkez atomu olduğu başlıca durumlar *peroksi* bağları (—O—O—) ya da *hidroksi* grubu (—O—H) içeren yapılardır. Bunun dışında, O atomunun *uç* atomu olması beklenir.
- *Karbon atomları her zaman merkez atomlarıdır.* Organik moleküllerin Lewis yapılarının yazılmasında bu gerçeğin hatırda tutulmasında yarar vardır.
- Çok sayıda zincir içeren organik moleküller dışındaki, *moleküllerin ve çok atomlu iyonların genellikle toplu ve simetrik yapıları vardır.* Buna göre fosforik asit, H_3PO_4, için aşağıda yazılan iki iskelet yapısından, sağdaki yapının daha toplu bir yapı olduğu ve gözlemlerle doğrulanan yapının da bu olduğu anlaşılmıştır.



(Yanlış) *(Doğru)*

Lewis Yapılarının Yazılmasında İzlenecek Yol

Lewis yapılarının yazılmasında, buraya kadar görmüş olduğumuz fikirleri bir araya getirelim. Bu konuda izleyeceğimiz yol, akla uygun Lewis yapılarına adım adım ulaşmamızı sağlayacaktır.

1. Yapıda bulunan değerlik elektronlarının toplam sayısını belirleyiniz.

   Örnekler: CH_3CH_2OH *molekülünde* her bir C atomunda 4 olmak üzere, iki C atomunda toplam 8 değerlik elektronu; her bir H atomunda 1 olmak üzere altı H atomunun toplam 6 değerlik elektronu ve bir O atomunun 6 değerlik elektronu vardır. Lewis yapısındaki toplam değerlik elektronu sayısı

   $$8 + 6 + 6 = 20 \text{ dir.}$$

   Çok atomlu bir iyon olan PO_4^{3-} da P atomunun 5 ve her birinde 6 olmak üzere, dört O atomunda ise toplam 24 değerlik elektronu vardır. İyonun 3– yükünü oluşturmak için yapıya fazladan 3 değerlik elektronu eklenmelidir. Buna göre yapıdaki toplam değerlik elektronu sayısı

   $$5 + 24 + 3 = 32 \text{ dir.}$$

   Çok atomlu bir iyon olan NH_4^+ da N atomunun 5 ve her bir H atomunun 1 olmak üzere, dört H atomunun toplam 4 değerlik elektronu vardır. Ancak iyonun yükünün +1 olması için bir elektron *çıkarılmalıdır.* Buna göre değerlik elektronlarının toplam sayısı

   $$5 + 4 - 1 = 8 \text{ dir.}$$

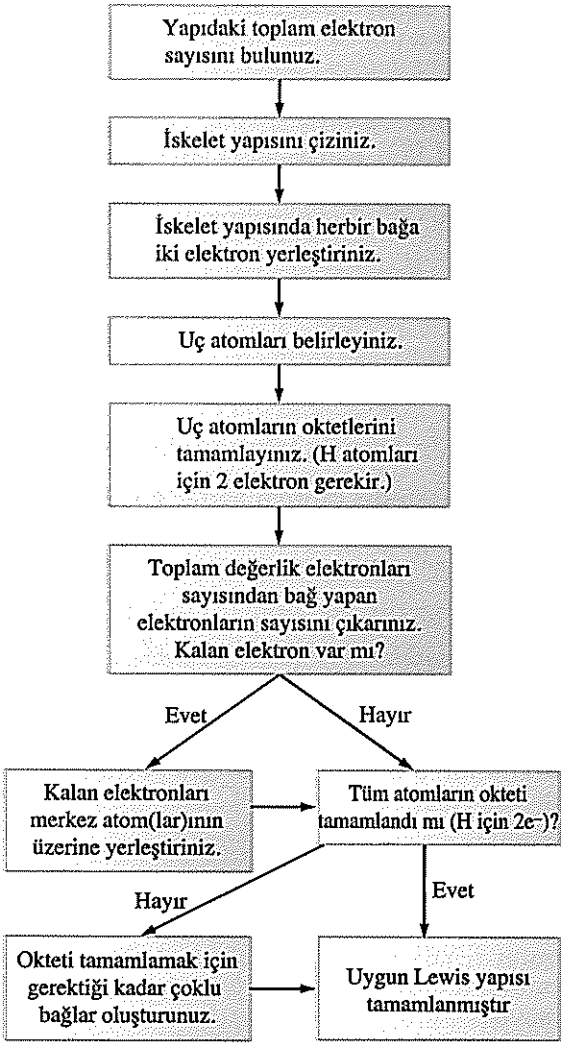
2. Merkez atomunu (ya da atomlarını) ve uç atomlarını belirleyiniz.
3. Uygun bir iskelet yapısı yazınız. İskelet yapısındaki atomları *tekli* kovalent bağlarla (tekli çizgilerle) bağlayınız.
4. İskelet yapısındaki her bir bağ için, toplam elektron sayısından *iki* elektron çıkarınız.
5. Geriye kalan değerlik elektronlarıyla, *önce* uç atomların oktetlerini tamamlayınız. *Sonra,* merkez atomlarının oktetlerini olabildiğince tamamlayınız. Eğer bütün atomların oktetlerini tamamlaya-

cak kadar değerlik elektronu varsa, bu yapı uygun bir Lewis yapısıdır.

6. Merkezi atomlardan birinin ya da daha fazlasının eksik okteti kalmışsa, yukarıdaki 5. adımdan sonra uç atomların ortaklanmamış elektron çiftlerini *katlı* kovalent bağlar oluşturmak üzere merkezi atomlara kaydırınız. Bütün atomların oktetlerinin tamamlanmasına kadar bu işleme devam ediniz ve uygun Lewis yapısına ulaşınız.

Lewis yapılarının yazılmasında yukarıda izlenen yol Şekil 10-8 de özetlenmiştir.

▶ Lewis yapılarının yazılmasında ustalaşmak için çok uygulama yapmak gerekir. Karmaşık moleküllerin yapılarını yazmayı denemeden önce, tek merkez atomu içeren yapıların yazılmasını deneyiniz.



▶ ŞEKİL 10-8
Lewis yapılarının yazılma şeması

ÖRNEK 10-6 Lewis Yapılarının Yazılmasında İzlenecek Yöntem

Roket yakıtı ve duman oluşturucu olarak kullanılan zehirli *siyanojen*, C_2N_2, gazı için uygun bir Lewis yapısı yazınız.

Analiz

Lewis yapılarının yazılmasında Şekil 10-8 de verilen şemayı uygulayınız.

Çözüm

Adım 1. Değerlik elektronlarının toplam sayısını belirleyiniz. Her bir C atomunun (grup 14) *dört* değerlik elektronu ve her bir N atomunun (grup 15) *beş* değerlik elektronu vardır. Değerlik elektronlarının toplam sayısı ise 4 + 4 + 5 + 5 = 18 dir.

Adım 2. Merkez atomlarını ve uç atomları belirleyiniz. C atomlarının elektronegatifliği (2,5), N atomlarının elektronegatifliğinden (3,0) daha azdır. Bu nedenle C atomları merkez atomları ve N atomları uç atomlardır.

Adım 3. Atomları *tekli* kovalent bağlarla bağlayarak uygun bir iskelet yapısı yazınız.

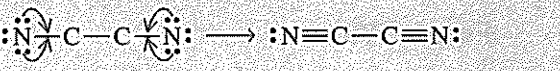
$$N—C—C—N$$

Adım 4. İskelet yapısındaki her bir bağ için toplam değerlik elektronlarından *iki* elektron çıkarınız. Bu yapıdaki üç bağ için 18 değerlik elektronundan *altı* çıkaracaksınız. Bunun sonucunda 12 değerlik elektronu kalacaktır.

Adım 5. Uç atom olan N atomlarının oktetlerini tamamlayınız ve C merkez atomlarının oktetlerini de mümkün olduğunca tamamlayınız. Ancak, kalan 12 değerlik elektronu sadece N atomlarının oktetlerini tamamlamaya yetecektir.



Adım 6. Uç atom olan N atomlarının ortaklanmamış elektron çiftlerini merkez C atomlarına katlı bağ yapmak amacıyla kaydırınız. Her bir C atomunun değerlik kabuğunda sadece dört elektronu vardır ve oktetini tamamlamak için dört elektron daha gerekir. Bunun için her bir C atomuna iki çift elektron gerekir ve bunları aşağıda görüldüğü gibi N atomlarının ortaklanmamış elektronlarından sağlarız.



Değerlendirme

Lewis yapılarının oluşturulması tüm kimyacıların ustalaşması gereken önemli bir beceridir. Sayfa 409 daki Şekil 10.8 e başvurmaksızın şemayı uygulama yeteneği kazanılmalıdır.

ALIŞTIRMA A: (a) CS_2, (b) HCN ve (c) $COCl_2$ için uygun Lewis yapılarını yazınız.

ALIŞTIRMA B: (a) Formik asit, HCOOH ve (b) asetaldehit, CH_3CHO, için uygun Lewis yapılarını yazınız.

ÖRNEK 10-7 Çok Atomlu Bir İyonun Lewis Yapısının Yazılması.

Nitronyum, NO_2^+, iyonunun Lewis yapısını yazınız.

Analiz

Burada yine Şekil 10–8 de verilen yöntemi uygulayınız.

Çözüm

Adım 1. Değerlik elektronlarının toplam sayısını belirleyiniz. N atomunun (grup 15) *beş* ve iki O atomundan (grup 16) her birinin de *altı* değerlik elektronu vardır. İyonun 1+ yükünü oluşturmak için *bir* elektron çıkarılmalıdır.

Değerlik elektronlarının toplam sayısı $5 + 6 + 6 - 1 = 16$ dır.

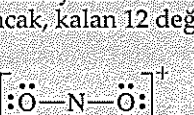
Adım 2. Merkez atomunu (atomlarını) ve uç atomları belirleyiniz. N atomunun elektronegatifliği (3,0) O atomununkinden (3,5) düşüktür. O halde, N merkez atomudur ve O atomları da uç atomlardır.

Adım 3. Atomları *tekli* kovalent bağlarla bağlayarak uygun bir iskelet yapısı yazınız.

$$O—N—O$$

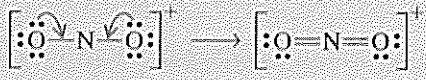
Adım 4. İskelet yapısındaki her bir bağ için toplam değerlik elektronundan *iki* elektron çıkarınız. Bu yapıdaki iki bağ için gerekli olan 4 elektronu 16 dan çıkarırsak geriye 12 değerlik elektronu kalır.

Adım 5. Uç O atomlarının oktetlerini tamamlayınız ve merkez N atomunun oktetini mümkün olduğunca tamamlamaya çalışınız. Ancak, kalan 12 değerlik elektronu sadece O atomlarının oktetlerini tamamlamaya yeterlidir.



(devam ediyor)

Adım 6. Uç O atomlarının ortaklanmamış elektron çiftlerini, çok katlı bağlar oluşturmak amacıyla merkez N atomuna kaydırınız. N atomunun yukarıdaki yapıda sadece dört elektronu olduğundan, oktetini tamamlamak için ek dört elektrona gereksinimi vardır. Bunun için her bir O atomundan bir çift ortaklanmamış elektron N atomuna aşağıda gösterildiği gibi kaydırılır.



(10.14)

Değerlendirme

Bir sonraki adıma veya bir sonraki alıştırmaya geçmeden önce oluşturduğunuz Lewis yapısını kontrol ediniz. Her atom sekiz elektron tarafından çevrelenmeli (her bir atom oktete ulaşmalı) ve yapıda toplam 16 değerlik elektronu bulunmalıdır (dikkatsizlikle elektron fazlalığı veya eksikliği yapılmış olabilir). Yapıyı değerlendirirken her bir çizginin *iki* elektronu (bir çift elektron) simgelediğini unutmamalıyız.

ALIŞTIRMA A: **(a)** NO^+; **(b)** $N_2H_5^+$; **(c)** O^{2-} için uygun Lewis yapıları yazınız.

ALIŞTIRMA B: **(a)** BF_4^-; **(b)** NH_3OH^+; **(c)** NCO^- için uygun Lewis yapıları yazınız.

Formal Yük

Örnek 10-6 daki nitronyum iyonu için yazdığımız Lewis yapısı (10.14) yerine aşağıdaki yapıyı da yazabiliriz.



(Olası değil) **(10.15)**

Bu yapı, değerlik elektronları sayısı ve atomlarda oktetlerin tamamlanması gibi koşulları sağlamakla birlikte, bir diğer koşulu sağlamadığı için mümkün değildir. Lewis yapılarını yazarken izlenen adımlarda, değerlik elektronlarının toplam sayısını belirttiğimiz halde, hangi elektronunu hangi atoma ait olduğunu belirtmediğimize dikkat ettiniz mi? Uygun bir Lewis yapısına ulaştıktan sonra, tekrar izlediğimiz yolun başına dönersek, her bir elektronun nereye ait olduğuna bakarak **formal yükü (FY)** belirleyebiliriz. Lewis yapılarında kovalent bağları oluşturan atomlar, bu bağların oluşumuna eşit elektron katkısı yapmadıkları durumlarda, bazı atomların üzerlerinde bağıl yükler oluşur. İşte bu yüklere **formal yükler denir**. Birden çok Lewis yapısının yazılmasının mümkün olduğu durumlarda, bağların düzeni ve atomların konumu açısından hangi yapının daha olası olduğuna karar vermekte formal yükler kullanılır.

Lewis yapısındaki bir atomun formal yükü, o atomun serbest (bağ yapmamış) halindeki değerlik elektronu sayısından, Lewis yapısında payına düşen elektron sayısının çıkarılmasıyla bulunur.

Bir Lewis yapısında, atomların payına düşen elektron sayılarını aşağıda gösterilen yolla buluruz.

- *Ortaklanmamış bütün elektron çiftlerini,* hangi atomda ise o atoma ait sayınız.
- *Bağlayıcı elektron çiftlerini* bağlanan atomlar arasında *eşit* olarak paylaştırınız.

Elektronların (e^-) bu şekilde paylaştırılması şu eşitlikteki gibidir:

Bir Lewis yapısındaki bağ yapan atomlara paylaştırılan e^-

$$= \text{ortaklanmamış çiftlerdeki } e^- \text{ sayısı} + \frac{1}{2} \text{ bağlayıcı çiftlerdeki } e^-$$

Formal yük, serbest (bağ yapmamış) atomun değerlik elektronu ile Lewis yapısında payına düşen değerlik elektronu sayısı farkı olduğundan, formal yükü (FY) şu bağıntıyla gösterebiliriz:

$$FY = \text{serbest atomda değerlik } e^- \text{ sayısı} - \text{ortaklanmamış çiftlerde } e^- \text{ sayısı} - \frac{1}{2}\text{bağlayıcı } e^- \text{ sayısı} \quad (10.16)$$

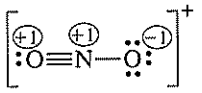
Yukarıdaki yapıda (10.15) bulunan atomların formal yüklerini soldan sağa doğru giderek belirleyelim.

:O≡ FY= O'de; 6 değerlik e^- – 2 bağ yapmamış e^- – $\frac{1}{2}$ (6 bağlayıcı e^-)= 6–2–3= +1

≡N— FY= N'da; 5 değerlik e^- – 0 bağ yapmamış e^- – $\frac{1}{2}$ (8 bağlayıcı e^-)= 5–0–4= +1

—Ö: FY= O'de; 6 değerlik e^-– 6 bağ yapmamış e^- – $\frac{1}{2}$ (2 bağlayıcı e^-)= 6–6–1= –1

Lewis yapısındaki formal yükleri, aşağıda belirtildiği gibi, rakamları küçük dairelerle çevreleyerek gösterebiliriz.



(10.17)

Bir Lewis yapısının formal yüklere göre uygun olup olmadığı, aşağıdaki kurallara bakılarak belirlenir.

- Lewis yapısında formal yüklerin toplamı, nötür bir molekülde sıfır ve çok atomlu bir iyonda iyonun yüküne eşit olmalıdır. [Yukarıdaki yapı (10.17) için bu toplam +1 + 1 – 1 = +1 dir.]
- Formal yükler mümkün olduğu kadar az olmalıdır.
- Elektronegatif atomlardaki formal yükler çoğunlukla negatif; elektronegatiflikleri az olan atomlardaki formal yükler ise pozitiftir.
- Komşu atomlarda aynı işaretli formal yüklerin bulunduğu yapılar olası değildir.

◀ Formal yükün en az olması tercih edilir. Ancak bunun bazı istisnalarını Kesim 10-6 da göreceğiz.

Yukarıdaki Lewis yapısı (10.17) ilk iki kurala uymakta, ancak üçüncü kurala uymamaktadır. Yapıdaki en elektronegatif element O olduğu halde, O atomlarından birinin üzerinde pozitif formal yük vardır. En fazla uyumsuzluk ise dördüncü kuralla ilgilidir. Soldaki O atomu ve ona komşu N atomu üzerinde pozitif formal yükler vardır. Bu yapı (10.17), en uygun Lewis yapısı değildir. Buna karşın, Örnek 10-7 da gösterilen NO_2^+ Lewis yapısında sadece bir formal yük, +1, merkez N atomu üzerinde bulunmaktadır. Bu yapı kuralların tamamına uymaktadır ve en uygun Lewis yapısıdır.

ÖRNEK 10-8 Lewis Yapısının Yazılmasında Formal Yüklerin Kullanılması

Nitrozil klorür, NOCl, derişik nitrik ve hidroklorik asidin bir karışımı olan ve altını çözdüğü için *altın suyu* olarak da bilinen çözeltideki yükseltgenlerden biridir. Bu bileşiğin en uygun Lewis yapısını yazınız.

Analiz

Bileşiğin formülünün NOCl şeklinde verilmesi, iskelet yapısının N—O—Cl olacağı anlamına gelmez. Çünkü N—O—Cl yapısında elektronegatifliği en fazla olan atom merkez atomudur (Bakınız Alıştırma A). Geriye uygun iki iskelet yapısı kalır.

O — Cl — N ve O — N — Cl

(devam ediyor)

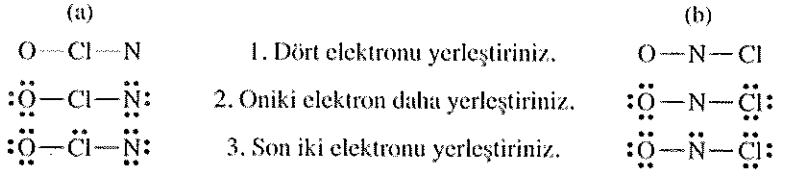
En uygun yapıyı bulmak için öncelikle iskelet yapılarını tamamlayınız ve formal yükleri hesaplayınız. En uygun yapı formal yükleri en düşük olan yapıdır.

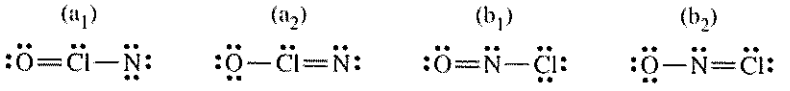
Çözüm

Seçtiğimiz iskelet yapısı hangisi olursa olsun, Lewis yapısındaki değerlik elektronları (noktalar) sayısı şöyledir.

N dan 5 + O den 6 + Cl dan 7 = 18

Olası iki iskelet yapısına, önceki dört adımı uyguladığımızda her bir iskelet yapısı için iki olmak üzere, toplam dört Lewis yapısı elde ederiz. Adım 4'de merkez atomların oktetlerini iki farklı şekilde tamamlayacağımızdan dolayı, sayı iki katına çıkacaktır. Sonuçta elde edilen Lewis yapıları (a_1), (a_2), (b_1) ve (b_2) olarak gösterilmiştir.





Formal yükleri (10.16) eşitliğini kullanarak belirleyiniz.

(a_1) yapısındaki N atomu için,

$$FC = 5 - 6 - \frac{1}{2}(2) = -2$$

O atomu için,

$$FC = 6 - 4 - \frac{1}{2}(4) = 0$$

Cl atomu için,

$$FC = 7 - 2 - \frac{1}{2}(6) = +2$$

Diğer üç yapı için de aynı işlemleri tekrarlayınız. Dört yapı için formal yükler şöyle olacaktır.

	(a_1)	(a_2)	(b_1)	(b_2)
N:	−2	−1	0	0
O:	0	−1	0	−1
Cl:	+2	+2	0	+1

Formal yük kurallarına göre en uygun Lewis yapısını seçiniz. Dört yapının da nötür molekülde formal yükler toplamının sıfır olması gerektiği koşuluna uyduğuna dikkat ediniz. (a_1) yapısında formal yükler büyüktür (Cl da +2 ve N da −2) ve negatif formül yük elektronegatifliği daha fazla olan atom üzerinde değildir. (a_2) yapısında bütün atomların formal yükleri vardır ve bunlardan biri büyüktür (Cl da +2). Formal yüklerin olmadığı (b_1) yapısı aradığımız ideal yapıdır. (b_2) yapısında yine formal yük vardır. Buna göre, nitrozil klorürün en uygun Lewis yapısı şöyledir.



Değerlendirme

(b_1) Yapısı dikkate alındığında nitrozil klorürün en uygun formülü ONCl olmalıdır.

ALIŞTIRMA A: Nitrozil klorür için N—O—Cl iskelet yapısını temel alarak bir Lewis yapısı yazınız ve bu yapının Örnek 10-8'de bulunan yapı kadar uygun olmadığını gösteriniz.

ALIŞTIRMA B: Siyanamit, NH_2CN, gübre ve plastik endüstrilerinde kullanılan önemli bir kimyasal maddedir. Bunun için iki Lewis yapısı yazınız. Daha uygun yapıyı seçmek için formal yük kavramını kullanınız.

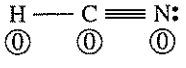
10-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

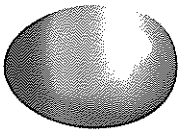
Moleküllerin en uygun Lewis yapısında bazı durumlarda formal yük bulunurken bazen formal yük (FY = 0) bulunmaz. Çok atomlu iyonların en uygun Lewis yapısında ise en az bir atomda bir formal yük bulunur. Bu gözlemleri açıklayınız.

10-1 MERAK EDİYORSANIZ...

Formal yükler atom üzerindeki gerçek yükleri gösterir mi?

Formal yüklerin gerçek yükler olmadığı, HCN molekülünün Lewis yapısından türetilmiş formal yükler ile elektrostatik potansiyel haritasının karşılaştırılmasından anlaşılabilir.





HCN molekülünde formal yüklerin tamamı sıfır olmasına karşın, elektrostatik potansiyel haritası H atomunun biraz pozitif (mavi) ve N atomunun biraz negatif (kırmızı) olduğunu göstermektedir. Moleküllerde atomların gerçek yükleri, her zaman olmasa da genellikle +1 ve −1 arasında bulunur. Örneğin, HCl molekülünde hidrojenin yükü +0,17 ve klorun yükü − 0,17 elektron yük birimi kadardır (bakınız sayfa 431).

Formal yüklerin belirlenmesinde uygulanan yöntem, gerçekte tam olarak *"elektron sayım hesabı"* şeklindedir. Bu kesimde elektron sayımında kullanılan iki farklı kavramı —yükseltgenme basamakları ve formal yükleri—tartışacağız. Her iki kavram da çok faydalıdır. Aşağıda bu kavramlar karşılaştırılmıştır.

	Açıklamalar	Yorumlar
Yükseltgenme basamağı	Atomun yükü, bağlardaki elektronların daha elektronegatif atoma *aktarılması* ile ortaya çıkar.	• Yükseltgenme basamağı kavramı, atomlar arasındaki bağı tamamen iyonik bağ kabul eder. • Yükseltgenme basamakları, bileşiklerin kimyasal özelliklerini anlamakta ve tahmin etmekte kullanılır.
Formal yük	Atomun yükü, bağ elektronlarının bağlanmaya katılan iki atom arasında *eşit şekilde paylaşılması* ile belirlenir.	• Formal yük kavramı, atomlar arasındaki bağı tamamen kovalent bağ kabul eder. • Formal yükler, hangi Lewis yapısının gerçek yapıya daha yakın olduğunu anlamakta kullanılır.

Pek çok molekülün bağı, tam iyonik karakterden ziyade tam kovalent karaktere daha yakındır ve bu yüzden bir atomun formal yükü, sayısal olarak gerçek yüküne daha yakın olur (ama her zaman değil). Bu bölümde, farklı Lewis yapılarını göreceli olarak değerlendirirken formal yükler üzerinde odaklandık. Ancak, kimyacıların formal yükü en küçük olan yapının en doğru yapı olduğu konusunu hala çözemediklerini vurgulamak gerekir.

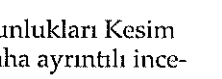
10-5 Rezonans

Birçok Lewis yapısını daha önce verdiğimiz kavramlarla yazabilmemize karşın, bazı yapılarda sorunlar çıkmaktadır. Bu sorunları önümüzdeki iki kesimde açıklayacağız.

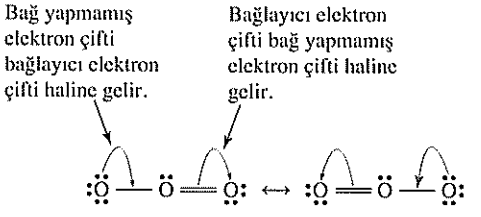
Oksijen molekülünü genellikle *iki atomlu* O_2 molekülü halinde düşünmemize karşın, gerçekte iki farklı oksijen molekülü vardır. Alışık olduğumuz oksijen molekülü *iki atomlu oksijen*, O_2, olup diğeri üç atomlu *ozon*, O_3, molekülüdür. Aynı elementin molekül yapısı ve bağlanma şekli farklı olan moleküllerini tanımlamak için *allotropi* terimi kullanılır. O_2 ve O_3, oksijenin allotroplarıdır. Ozon stratosferde doğal olarak bulunur ve atmosferin alt katmanlarında kirlilik yaratan dumanın bir bileşeni olarak meydana gelir.

Lewis yapısı kurallarını ozona uygularsak *iki* olasılıkla karşılaşırız.

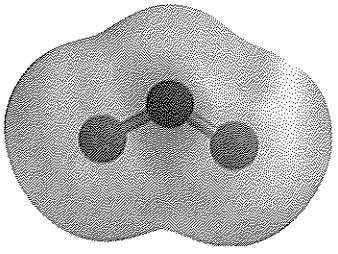
▶ Bağ uzunlukları Kesim 10-8 de daha ayrıntılı incelenecektir.



Her iki yapıda da bir bağın tekli, öbür bağın ikili olduğu görülmektedir. Ancak, deneysel verilere göre her iki oksijen–oksijen bağı da aynıdır ve 127,8 pm uzunluğundadır. Bu bağ uzunluğu hidrojen peroksitteki, H—O—O—H tekli O—O bağının uzunluğu olan 147,5 pm den kısa, fakat iki atomlu oksijendeki, :O=O: ikili bağ uzunluğu olan 120,74 pm den uzundur. Yani, ozondaki bağlar tekli ve ikili bağ arasında bir yapıdadır. Bu sorun, O_3 molekülünün *gerçek* Lewis yapısının yukarıdaki yapılardan hiçbiri olmadığını, ancak bu iki yapının bir *melezi* olduğunu kabullenmekle giderilebilir. Bu durumu şu şekilde gösterebiliriz.

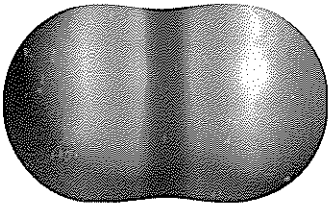


(10.18)



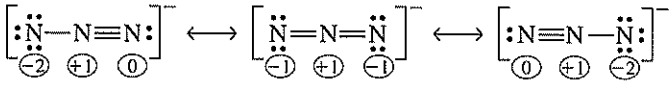
▲ Ozonun elektrostatik potansiyel haritası
Ozon molekülünde tüm atomların elektronegatiflikleri aynıdır, ancak elektron yoğunluk dağılımı eşit değildir. Bunun nedeni, moleküldeki bağlanma şeklini daha ileride açıkladığımızda anlaşılacaktır.

İki ya da daha fazla uygun Lewis yapısının "gerçek" yapıya katkı sağlamasına **rezonans** denir. Gerçek yapı, uygun yapıların katkılarıyla oluşan bir *rezonans melezidir*. Rezonans melezine katkı yaptığı kabul edilen yapıların hepsi de aynı iskelet yapısına sahip olmalıdır. Bunların bu yapı içinde sadece elektron dağılımları farklı olabilir. Yukarıdaki rezonansa katkı yapan iki yapı (10.18) arasına iki uçlu bir ok konulmuştur. Bu ok, molekülün herhangi bir anda yapılardan biri halinde, başka bir anda ise öbürü halinde olduğunu *göstermez. Gerçek yapı bu iki rezonans yapısının, eşit oranda bir bileşkesidir ve sürekli mevcuttur.* Rezonans yapıları ortamda mevcut değildir. Bir yapıdaki tekli bağ ve diğer yapıdaki ikili bağın ortalamasını alarak ozondaki O—O bağının bağ derecesinin 3/2 yani 1,5 olduğunu söyleyebiliriz. Ozondaki elektronlar, ozonun yan taraftaki elektron yoğunluk haritasında görüldüğü gibi eşdeğer iki bağ oluşturacak şekilde tüm moleküle dağılmıştır.



▲ Azit anyonunun elektrostatik potansiyel haritası

(10.18) deki iki rezonans yapısı eşdeğerdir ve rezonans melezine eşit katkıda bulunur. Çoğu hallerde rezonans yapılar eşit katkıda bulunmaz. Örneğin, aşağıda üç farklı rezonans yapısı verilen azit anyonunu düşünelim.



Formal yükler için Sayfa 413 deki genel kuralları uygulayıp rezonans melezine hangi rezonans yapılarının daha çok katkıda bulunma olasılığı olduğuna karar verebiliriz. Ortadaki rezonans yapısı, bir N atomunda –2 yük bulunduran ve olasılığı düşük olan diğer iki yapıdan farklıdır. Sonuç olarak, ortadaki yapının azit anyonunun rezonans melezine daha çok katkıda bulunabileceğini ifade edebiliriz.

ÖRNEK 10-9 Bir Rezonans Melezinin Lewis Yapısının Yazılması

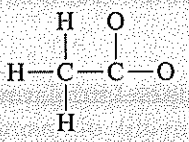
Asetat, CH_3COO^-, iyonunun Lewis yapısını yazınız.

Analiz

Rezonans yapıları, sadece elektron dağılımları farklı olan yapılarla ilgili bir kavramdır ve atomların yerlerini değiştiremeyiz. Öncelikle bir iskelet yapısı çizer (yanda görülen elektrostatik potansiyel haritasına bakınız) ve daha önce kullandığımız yöntemle işlemi tamamlarız. Son olarak, elektron çiftlerini hareket ettirip diğer yapıları (rezonans yapılarını) elde ederiz.

Çözüm

İskelet yapısında merkez atom C atomuna bağlı üç tane uç H atomu vardır. İkinci C atomu da birincisine bağlı bir merkez atomudur. İki O atomu, ikinci C atomuna bağlı uç atomlarıdır.

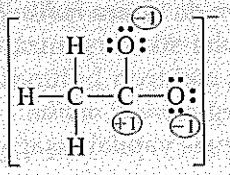


Lewis yapısında gösterilmesi gereken değerlik elektronu (noktaları) sayıları şöyledir.

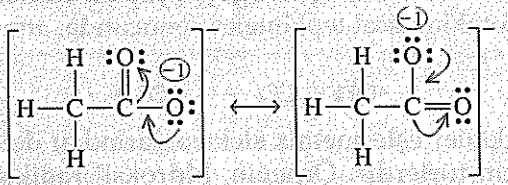
$$(3 \times 1) + (2 \times 4) + (2 \times 6) + 1 = 3 + 8 + 12 + 1 = 24$$

H den C dan O den yükün 1– olması için

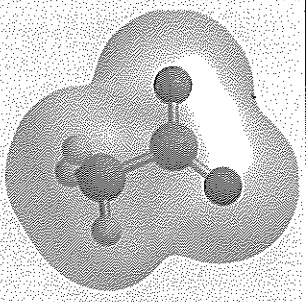
Değerlik elektronlarının on iki tanesi iskelet yapısındaki bağlarda kullanılmıştır ve kalan on iki elektron iki O atomuna ortaklanmamış elektron çiftleri olarak dağıtılır.



Sağdaki C atomunun oktetini tamamladığımızda, karbon-oksijen ikili bağını oluşturacak elektron çiftinin iki O atomundan hangisinin sağladığına bağlı olarak, birbirleriyle tam eşdeğer iki Lewis yapısı yazabiliriz. Gerçek Lewis yapısı aşağıdaki her iki yapının da katkıda bulunduğu bir rezonans melezidir.



(10.19)



▲ Asetat anyonu

Değerlendirme

Bir rezonans yapısı diğerine, elektronları hareket ettirerek dönüştürülse de, elektronların hareketi rezonans anlamına gelmez. Asetat anyonu, oluşturduğumuz iki rezonans yapısının katkısı ile meydana gelen bir tek yapıya sahiptir.

ALIŞTIRMA A: SO_2 molekülünün rezonans melezine katkıda bulunan Lewis yapılarını yazınız.

ALIŞTIRMA B: Nitrat iyonunun rezonans melezine katkıda bulunan Lewis yapılarını yazınız.

10-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Asetik asit (CH_3CO_2H) molekülünde rezonans olabilir mi? Açıklayınız.

10-6 Oktet Kuralından Sapmalar

Lewis yapılarının yazılmasında oktet kuralı en önemli dayanak noktasıdır ve bu böyle de olmaya devam edecektir. Ancak bazı durumlarda, bu kesimde de göreceğimiz gibi, oktet kuralından sapmalar olur.

Tek Sayılı Elektronu Olan Yapılar

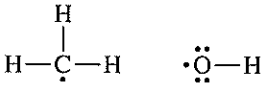
NO molekülünün 11 değerlik elektronu vardır ve bu sayı *tek* sayıdır. Eğer bir Lewis yapısında değerlik elektronları sayısı *tek* ise yapıda eşleşmemiş bir elektron vardır. Lewis kuramı, elektron çiftleriyle ilgilidir ve bize eşleşmemiş elektronun nereye konulacağını söylemez. Bu elektron NO molekülünde N ya da O atomu üzerinde olabilir. Formal yükü olmayan bir yapı elde edebilmemiz için elektronu N atomu üzerine koymamız gerekir.



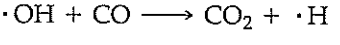
Eşleşmemiş elektronların bulunması, tek sayılı elektronlar içeren yapıların paramanyetik olmasına neden olur. Bu nedenle NO molekülü *paramanyetiktir*. *Çift* sayılı elektronları bulunan moleküller eşleşmiş elektron içerdiğinden *diyamanyetiktir*. Bu genel kurala karşın, 12 değerlik elektronu içeren O_2 molekülünün paramanyetik olması önemli bir istisnadır. Lewis kuramı, O_2 nin paramanyetik olduğunu gösteren elektronik yapısını iyi açıklayamaz. Önümüzdeki bölümde göreceğimiz gibi "molekül orbitali kuramı" bu konuyu daha iyi açıklamaktadır.

▶ O_2 molekülünün paramagnetik olduğunun deneysel kanıtı Şekil 10-3 de görülmektedir.

Tek sayıda elektron içeren kararlı moleküllerin sayısı oldukça azdır. Bir ya da daha fazla sayıda eşleşmemiş elektronları olan ve adına **serbest radikaller** ya da kısaca *radikaller* denen molekül tanecikleri oldukça etkindirler ve daha sık karşımıza çıkarlar. Serbest radikallerin formüllerine, eşleşmemiş elektron bulunduğunu belirtmek için, genellikle bir nokta konur. Örneğin, *metil radikali* ($\cdot CH_3$) ve *hidroksil radikali* ($\cdot OH$) gibi. Bu iki radikalin Lewis yapıları aşağıda yazılmıştır.



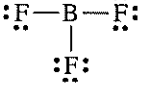
Bu iki serbest radikal alev içinde geçici yapılar olarak bulunur. Ayrıca, $\cdot OH$ radikali fotokimyasal tepkimeler sonucunda, atmosferde eser miktarda oluşur.



Serbest radikaller eşleşmemiş elektronlarından dolayı tepkime vermeye çok yatkın türlerdir. Örneğin, hidroksil radikali kansere kadar giden DNA hasarına neden olmaktadır.

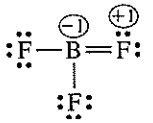
Eksik Oktetler

Bor triflorürün Lewis yapısını yazarsak, B atomunun değerlik kabuğunda sadece *altı* elektron bulunduğunu, yani *oktetinin eksik* olduğunu görürüz.



(10.20)

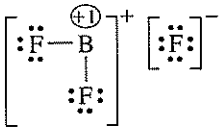
Merkez atomların oktetlerini tamamlamak için, uç atomlardan ortaklanmamış elektron çiftlerini, çok katlı bağlar oluşturacak şekilde kaydırdığımızı öğrenmiştik. Bor ile flor arasında ikili bağ bulunan *üç* eşdeğer yapıdan biri aşağıda gösterilmiştir.



(10.21)

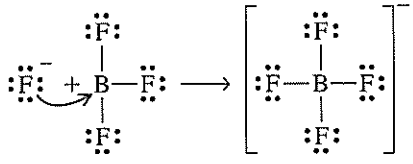
Bu yapıyı (10.20) destekleyecek deneysel bir gözlem, BF_3 deki B—F bağının (130 pm), tekli bağ için beklenenden daha kısa olmasıdır. Bağın daha kısa olması, ikiden fazla elektron içerdiğini ve dolayısıyla da çoklu bağ karakteri taşıdığını gösterir. Diğer taraftan, (10.21) yapısında formal yüklerin bulunması ve negatif formal yükün bor atomu üzerinde olması, negatif formal yükün bağdaki daha elektronegatif atomda bulunması gerektiği kuralına aykırıdır. Bu yapıda *pozitif* formal yük daha elektronegatif olan F atomundadır.

Florun elektronegatifliğinin yüksek (4,0) ve borun daha düşük (2,0) olması, bor ile flor arasındaki bağın belirgin bir şekilde iyonik karakter taşıması gerektiğini gösterir (bakınız Şekil 10-7). Buna göre, aşağıdaki *iyonik* yapı yazılabilir.



(10.22)

Molekül özellikleri ve kimyasal davranışlarının ışığında, BF_3 molekülünün en uygun yapısının (10.20) (10.21) ve (10.22) yapılarının bir rezonans melezi olduğu görülmektedir. Bunlardan da en fazla katkısı olan yapının (10.20) deki eksik oktetli yapı olduğu anlaşılmaktadır. BF_3 yapısı için hangi yapıyı seçersek seçelim, BF_3 ün önemli bir özelliği, B atomuna bir elektron çifti verebilecek türlerle, bir koordine kovalent bağ oluşturmaya yönelik kuvvetli eğilimidir. Bunu BF_4^- iyonunun oluşumunda görebiliriz.



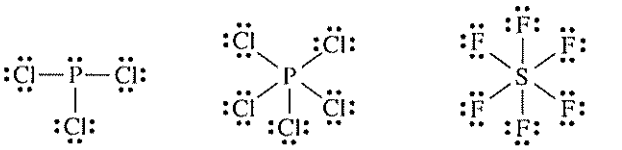
BF_4^- de bağlar tekli bağlardır ve bağ uzunlukları 145 pm dir.

Eksik oktetli yapılar bazı berilyum, bor ve aluminyum bileşikleri ile sınırlıdır. Bunlara en iyi örnek bor hidrürlerdir. Bor hidrürlerdeki bağlanma Bölüm 22 de incelenecektir.

Genişlemiş Değerlik Kabukları

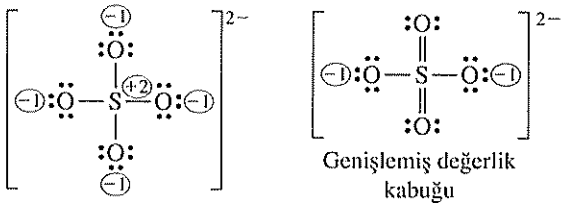
Şimdiye kadar Lewis yapılarını, H atomu dışında, bütün atomları 8 değerlik elektronuna sahip olacak şekilde, yani oktetlerini tamamlamış olarak yazdık. Oysa bazı Lewis yapıları, bu kurala aykırı olarak, merkez atomları üzerinde 10 ya da 12 değerlik elektronu bulundururlar. Bunlara **genişlemiş değerlik kabukları** denir. Bu yapılardaki bağlanmanın nasıl olduğu kimyacılar arasında sürekli ilgi çeken bir konudur.

Genişlemiş değerlik kabuğu içeren moleküller, genellikle üçüncü periyot ve sonrasındaki ametal atomlarına oldukça elektronegatif atomların bağlanmasıyla oluşmaktadırlar. Örneğin, fosforun PCl_3 ve PCl_5 olmak üzere iki klorürü vardır. PCl_3 için oktet kuralına uyan bir Lewis yapısı yazabiliriz. Ancak PCl_5 molekülünde, merkez P atomuna beş Cl atomu bağlanmış ve P atomunun dış kabuğunda elektron sayısı 10 olmuştur. Bu durumda değerlik kabuğunun *10* elektrona genişlediğini söyleyebiliriz. SF_6 molekülünde ise değerlik kabuğu 12 elektrona genişler.



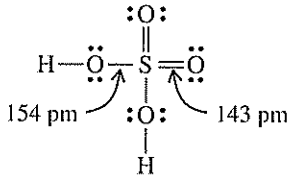
Oktet | Genişlemiş değerlik kabuğu | Genişlemiş değerlik kabuğu

Sülfat iyonu için aşağıda yazılan iki Lewis yapısından da görüldüğü gibi, oktet kuralına sıkı sıkıya bağlı kalmak yerine genişlemiş değerlik kabuklarını kullanarak daha olası Lewis yapıları yazılabilmektedir



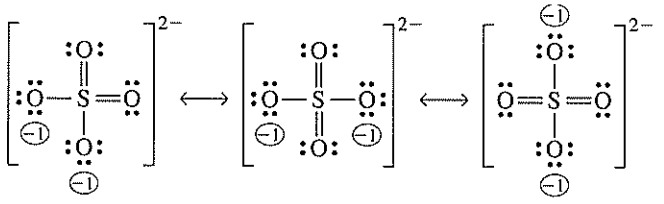
Normal oktet | Genişlemiş değerlik kabuğu

Yukarıdaki genişlemiş değerlik kabuğu yapısında formal yüklerin azaldığı görülmektedir. Bunun yanında, deneysel olarak SO_4^{2-} ve H_2SO_4 de bulunan S—O bağ uzunlukları bu düşünceyi doğrulamaktadır. H_2SO_4 için bulunan deneysel sonuçlar (10.23) de verilmiştir. Bu sonuçlar, S—OH bağının, S—O bağından uzun olduğunu göstermektedir



(10.23)

Deneysel veriler sülfürik asitin Lewis yapısında genişlemiş değerlik kabuğu kullanıldığı görüşünü desteklemektedir. SO_4^{2-} anyonunun deneysel olarak bulunan S—O bağ uzunluğu 149 pm olup sülfürik asitte bulunan iki farklı S—O bağ uzunluğu arasına düşer ve kısmi ikili bağ karakteri taşır. İyonun normal oktet yapısında kısmi ikili bağ karakteri olmamasına karşın, genişlemiş değerlik kabuğu yapısında bu bağ önerilmektedir. SO_4^{2-} anyonu için gözlenen S—O bağ uzunluğu, değerlik kabuğu genişletilerek yazılan (10.24) teki Lewis yapılarının, rezonans melezine önemli katkılarda bulunduğunu doğrulamaktadır.



(10.24)

Genişlemiş değerlik kabuğu yapılarında bu "fazla" elektronlar nereye gider? Bu soruyu merkez atomunda *3s* ve *3p* alt kabukları dolduktan sonra (sekiz elektron) fazla elektronların boş *3d* alt kabuğuna gittiğini varsayarak yanıtlayabiliriz. *3p* ve *3d* düzeyleri arasındaki enerji farkının fazla olmaması değerlik kabuğu genişlemesinin mantıklı bir düşünce olduğunu akla getirmelidir. Ancak bu gerçekçi bir varsayım mıdır? Değerlik kabuğunun genişlemesinde *3d* orbitallerinin kullanılması bilimsel bir tartışma* konusudur. Genişlemiş değerlik kabuğu kavramı hakkında yanıtlanmamış sorular olmakla birlikte, Lewis yapılarının çoğu için oktet kuralının oldukça iyi

*L. Suidan et al., *J. Chem. Educ.*, 72, 583 (1995); G. H. Purser, *J. Chem. Educ.*, 78, 981 (2001).

uygulanabildiğini aklımızda tutmalıyız. Bu konuyu, yanıtlanmamış sorular ile birlikte 11. Bölümde çözümlemek üzere tekrar ele alacağız.

10-7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

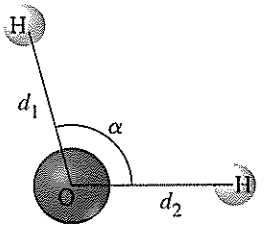
Sayfa 416 da, O_3 molekülündeki oksijen-oksijen bağlarının rezonanstan dolayı tekli ve ikili bağlar arasında, yani 1,5 bağ değerinde olduğunu ifade etmiştik. SO_2 molekülündeki kükürt-oksijen bağının tekli, ikili ya da 1,5 bağdan hangisi olduğunu düşünürsünüz? Kükürdün değerlik kabuğunu genişletebileceğini düşünerek yanıtlayınız.

10-7 Moleküllerin Biçimleri

Suyun Lewis yapısı, suyu oluşturan atomların düz bir çizgi üzerinde düzenlenmiş olduğu izlenimini verir. Suyun Lewis yapısını

$$H—\ddot{O}—H$$

şeklinde yazdığımızda, atomlar bir doğru üzerindeymiş gibi anlaşılır. Oysa bu molekülün deneysel olarak belirlenen şekli *doğrusal değildir*. Molekül Şekil 10-9 da gösterildiği gibi açısaldır. H_2O molekülünün doğrusal ya da açısal olması bir anlam ifade eder mi? Bu sorunun yanıtı kuşkusuz evettir. Bölüm 12 de öğreneceğimiz gibi, su molekülünün oda sıcaklığında gaz halinde değil sıvı halde olmasının nedeni, molekülün açısal yapısıdır. Bölüm 13 de göreceğimiz üzere, sıvı haldeki suyun birçok farklı maddeyi çözebilmesinin nedeni de bu açısallıktır.



▲ ŞEKİL 10-9
Bir molekülün geometrik şekli
Üç atomlu H_2O molekülü. Burada verilen şeklini belirleyebilmek için, bağlı atomların çekirdekleri arasındaki uzaklıkları ve komşu bağlar arasındaki açıyı bilmemiz gerekir. H_2O da bağ uzunlukları $d_1 = d_2 = 95{,}8$ pm ve bağ açısı $\alpha = 104{,}45°$.

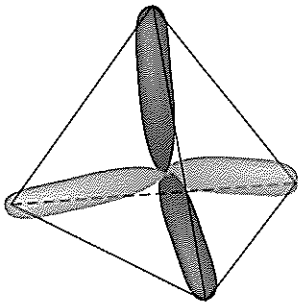
Bu kesimde, bir molekülün yaklaşık şeklini öngörmemizi sağlayacak basit bir model arayacağız. Ne yazık ki, Lewis kuramı moleküllerin geometrisi hakkında bize bilgi vermez. Bu bakımdan, Lewis yapısını model olarak alamayız; ancak başlangıç noktası olarak alabiliriz. İkinci adım, değerlik kabuğu elektron çiftlerinin birbirlerini itmeleri kavramını kullanmaktır. Bu kavramı, bazı terimleri tanımladıktan sonra yeniden ele alacağız.

Molekül biçimi sözüyle, molekülde birbirine bağlı atomları doğru çizgilerle birleştirerek oluşturduğumuz geometrik şekli kastediyoruz. Şekil 10-9, *üç atomlu* su molekülünü top ve çubuk modeliyle göstermektedir. Toplar moleküldeki üç atomu ve çubuklar bunlar arasındaki bağları belirtmektedir. Gerçekte ise moleküldeki atomlar yakın temastadır; ancak belirgin olması için biz sadece atomların merkezlerini gösteriyoruz. Bir molekülün geometrisini tam olarak belirleyebilmemiz için, sadece bağ yapan atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığı, yani bağ uzunluğunu bilmemiz yetmez. Bunun yanında, **bağ açılarını** da bilmemiz gerekir. Bu kesimde, bu iki nicelikten, bağ açıları üzerinde duracağız. Bağ uzunlukları Kesim 10-8'de ele alınacaktır.

İki atomlu bir molekülün tek bağı vardır ve bağ açısı yoktur. İki noktadan bir doğru geçtiğine göre, *bütün iki atomlu moleküller doğrusaldır*. Üç *atomlu* bir molekülün iki bağı ve bir bağ açısı vardır. Eğer bağ açısı 180° ise üç atom bir doğru çizgi üzerinde bulunur ve molekül yine *doğrusal* olur. Bunun dışındaki bütün üç atomlu moleküler *açısal* ya da *"V" biçimindedir* diyebiliriz. Üçten fazla atomu olan bazı *çok atomlu* moleküllerin düzlemsel ya da doğrusal şekilleri olabilir. Bununla birlikte, çok atomlu moleküller daha ziyade üç boyutlu bir geometriye sahiptirler.

Değerlik Kabuğu Elektron Çifti İtmesi (VSEPR) Kuramı

Bir molekülün şekli deneysel yollarla ya da deneysel olarak doğrulanmış kuantum mekaniği hesaplamalarıyla belirlenir. Bu deney sonuçları ve hesaplamalar genellikle **değerlik kabuğu elektron çifti itmesi (VSEPR) kuramı** ile uyum içindedir. VSEPR "Valance Shell Electron Pair Repulsion" kısaltması olup "vesper" diye okunur. VSEPR kuramında merkez atomun *değerlik* kabuğundaki elektron *çiftleri* üzerinde odaklanacağız.



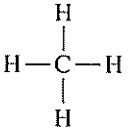
▲ ŞEKİL 10-10
Değerlik kabuğu elektron -çifti itmesine balon benzetmesi
Eğer iki uzun balon ortadan çakıştırılıp bükülürse dört lob oluşur. Etkileşimi azaltmak için loblar dört yüzlü yapıda yönlenir. (Dörtyüzlü, her yüzü eşkenar üçgen olan dörtyüzlü piramittir.) Loblar, değerlik kabuğu elektron çiftlerini temsil eder.

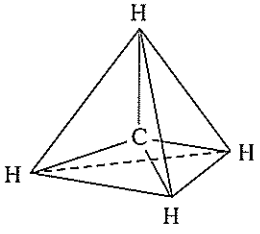
İster kimyasal bağda (bağlayıcı çiftler), isterse ortaklanmamış (bağ yapmayan çiftler) halde olsun, elektron çiftleri birbirini iter. Elektron çiftleri, atom etrafında itmeyi en aza indirecek şekilde yönlenir.

Bunun sonucunda moleküllerin kendilerine özgü geometrik şekilleri oluşur.

VSEPR kuramının diğer bir özelliği, sadece elektron çiftlerini değil, *elektron gruplarını* da gözönüne almasıdır. Bir elektron grubu, ortaklanmamış veya ortaklanmış (bağ yapmış) bir elektron çifti olabileceği gibi, NO molekülünde görüldüğü üzere eksik oktetli bir atom üzerinde bulunan eşleşmemiş bir elektron da olabilir. İki atom arasında bulunan ikili ya da üçlü bağ da bir elektron grubudur. Buna göre, Ö=C=Ö molekülünde merkez C atomunun değerlik kabuğunda *iki* elektron grubu vardır. İkişer elektron çiftinden oluşan ikili bağlar *bir* elektron grubu olarak kabul edilir.

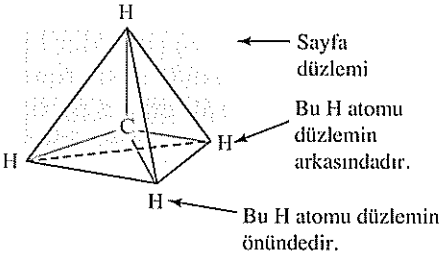
Şekil 10-10 daki "balon" benzetmesine göre, elektron çiftleri bir dörtyüzlünün köşelerine yönlenerek birbirlerinden en uzak olacak şekilde dururlar. Şimdi C atomunun dört H atomuyla kovalent bağ yaparak Ne'nun elektron dağılımına benzediği metan, CH_4, molekülüne bakalım.



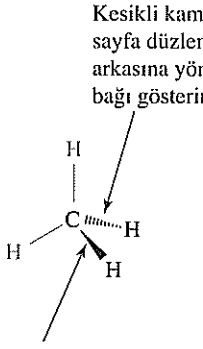


Dört elektron grubu (bağ çifti) nasıl yönlenecektir? Şekil 10-10 daki balon benzetmesine göre elektron gruplarının itmesi atomları birbirinden olabilecek en uzak mesafeye doğru gitmeye zorlayacaktır. VSEPR kuramı CH_4 molekülünde C atomunun merkezde, H atomlarının dört köşede bulunduğu bir *dörtyüzlü* yapıda olduğunu söylemektedir.

Metanın düzgün dörtyüzlü yapısını sayfa düzleminde nasıl gösterebiliriz? Yanıt olarak, metanın yandaki dörtyüzlü geometrisi (kırmızı çizgiler) verilebilir.



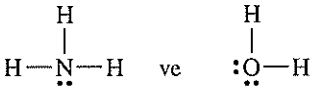
C–H bağları dörtyüzlünün köşelerine doğru yönlenir. C–H bağlarından herhangi ikisi bir düzlem içindedir ve aşağıdaki şekilde mavi ile gösterilen iki C–H bağını kağıt düzleminde kabul edelim.



Yukarıdaki şekli dikkatle incelersek, diğer iki C–H bağının sayfa düzleminde olmadığını görebiliriz. C–H bağlarından biri sayfa düzleminin önüne doğru (bizden tarafa), diğeri ise arkaya doğru (bizden uzağa) yönlenmiştir. Yan alttaki şekilde ise, bize doğru yönlenen bağı dolu kama ile, düzlemin arkasına yönlenen bağı kesikli kama ile gösterdik. Moleküllerin üç boyutlu yapısını göstermek için kimyacılar *dolu kama* ve *kesikli kama* simgesini sık sık kullanırlar. Bu simgelerin anlamı şunlardır:

- Düz çizgiler, sayfa düzlemindeki bağları gösterir.
- Dolu kamalar, sayfa düzleminin önüne doğru yönelen bağları gösterir.
- Kesikli kamalar, sayfa düzleminin arkasına doğru, yani kişiden uzağa doğru yönelen bağları gösterir.

NH_3 ve H_2O moleküllerinde merkez atom dört çift elektronla çevrilmiştir; ancak bu moleküller dörtyüzlü yapıda *değildir*.



VSEPR kuramına göre, bu moleküllerdeki elektron çiftleri merkez atom etrafında dörtyüzlü olarak yönlenmiştir. Buna karşın molekülün şekli, bu elektron çiftleri tarafından değil, atom çekirdeklerinin bulundukları yere göre belirlenir. Karışıklığı önlemek için, elektron çiftlerinin dağılım geometrisine **elektron grubu geometrisi** ve atom çekirdeklerinin oluşturduğu geometriye —molekülün gerçek geometrisidir— **molekül geometrisi** diyoruz.

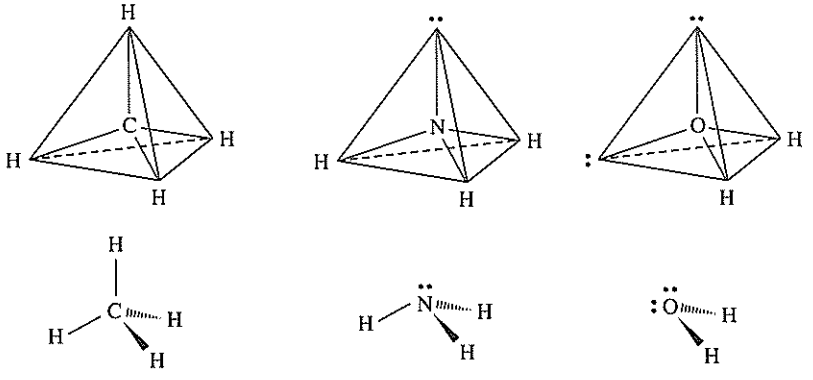
NH_3 molekülünde, elektron çiftlerinden sadece üçü bağlayıcı çift, dördüncüsü ise ortaklanmamış çifttir. N çekirdeğini, H çekirdeklerine doğrusal çizgilerle bağlarsak, bir *üçgen piramit* oluştururuz. Bu piramitte N atomu tepede ve H atomları tabanın üç köşesindedir. Bu yapı, N atomunun merkezde olduğu bir dörtyüzlü yapısı değildir. NH_3 molekülünün elektron grubu geometrisinin dörtyüzlü yapıda, fakat molekül geometrisinin üçgen piramit yapısında olduğunu söyleyebiliriz.

H_2O molekülünde, dört elektron çiftinden ikisi bağlayıcı çift ve diğer ikisi de ortaklanmamış çifttir. İki H çekirdeği ile O çekirdeğini birer doğru çizgi ile birleştirerek molekül şeklini elde edelim. H_2O molekülünde elektron grubu geometrisi dörtyüzlü, molekül geometrisi "V" şeklinde yani açısaldır. Aşağıda suyun Lewis yapısı iki şekilde çizilmiştir.



İlk formülde, tüm atomları sayfa düzleminde gösterdik. İkinci yapıda ise, bir bağın bize doğru diğerinin bizden uzağa doğru yönlendiğini gösteren dolu kama ve kesikli kama simgesini kullandık.

CH_4, NH_3 ve H_2O moleküllerinin geometrileri Şekil 10-11 de görülmektedir.



▲ ŞEKİL 10-11

CH_4, NH_3 ve H_2O moleküllerinin dörtyüzlü elektron grubu geometrisine dayanan biçimleri

Yukarıdaki bütün moleküller merkez atomu etrafında dörtyüzlü elektron grubu geometrisine sahiptir. Ancak, molekül geometrisi atomların konumlarına göre belirlenir. Molekül geometrisi belirlenirken ortaklanmamış elektronlar yokmuş gibi düşünülür. **(a)** Merkez atomu etrafındaki bütün elektron çiftleri bağlayıcı çifttir, ortaklanmamış elektronlar yoktur. Molekül geometrisi dörtyüzlüdür. **(b)** N atomu üzerindeki ortaklanmamış elektron çiftini görmezsek, molekülün yapısı, tabanı eşkenar üçgen ve tepesinde N atomu bulunan bir üçgen piramittir. **(c)** O ve H atomları bir V-biçimi oluşturur ve molekül geometrisi V-biçimi ya da açısaldır.

Şekil 10-11 de kullanılan VSEPR gösteriminde, A merkez atomunu, X merkez atomuna bağlı uç atom ya da atom gruplarını, E ise ortaklanmamış elektron çiftlerini göstermektedir. Örneğin, AX_2E_2 gösterimi merkez atomuna (A) bağlı *iki* atom ya da grubu (X) ve ortaklanmamış *iki* elektron çiftini (E) göstermektedir. AX_2E_2 tipinde moleküllere H_2O bir örnek olarak verilebilir.

Dörtyüzlü elektron grubu geometrisinde, bağ açılarının *dörtyüzlü* bağ açısı olarak bilinen 109,5° olması beklenir. CH_4 molekülünde bağ açıları gerçekten de 109,5° olarak ölçülmüştür. Bağ açıları NH_3 ve H_2O moleküllerinde ise biraz daha küçüktür. H—N—H bağ açısı 107° ve H—O—H bağ açısı 104,5° dir. Dörtyüzlü bağ açısından daha küçük olan bu bağ açılarını, ortaklanmamış elektron çiftlerinin yük bulutu etkisiyle açıklayabiliriz. Elektron bulutlarının birbirini itmesi nedeniyle bu bağ açıları, olması gerekenden daha küçüktür.

VSEPR kuramı, ikinÖ periyot elementleri için iyi sonuçlar verir. H_2O için tahmin edilen 109,5° lik açı, ölçülen bağ açısına (104,5°) yakındır. Ancak, H_2S için tahmin edilen 109,5° lik açı ile gözlenen 92° açı arasında fark çok büyüktür. VSEPR kuramı, H_2S molekülünün bağ açısı için doğru bir öngörü yapamasa da, bu molekülün açısal olduğunu ortaya koyabilmektedir.

Elektron Grubu Dağılım Olasılıkları

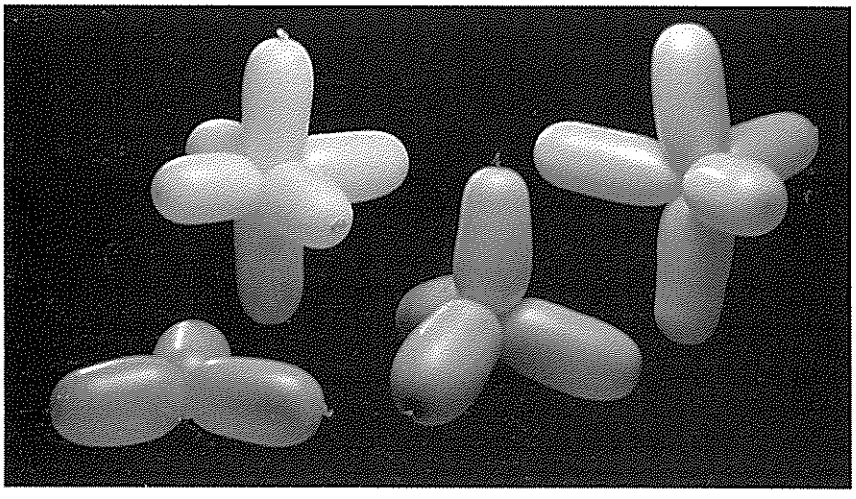
Moleküllerde merkez atomları etrafında genellikle 2, 3, 4, 5 ya da 6 elektron çifti bulunma olasılığı vardır. Bu olasılıklar için elektron grubu geometrileri şu şekilde olabilir:

Elektron grup geometrileri

- 2 elektron grubu: doğrusal
- 3 elektron grubu: üçgen düzlem
- 4 elektron grubu: dörtyüzlü
- 5 elektron grubu: üçgen bipiramit
- 6 elektron grubu: sekizyüzlü

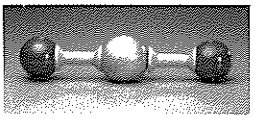
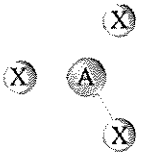
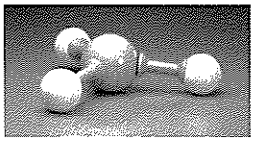
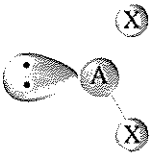
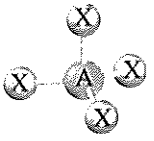
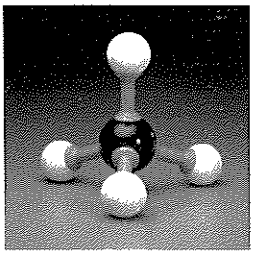
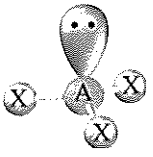
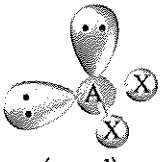
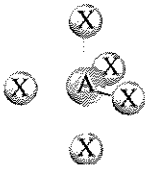
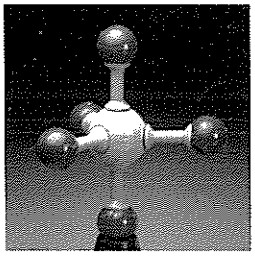
Bu geometrilerin "balon" benzerleri Şekil 10-12 de gösterilmektedir. Beş ve altı elektron grubu içeren genişlemiş değerlik kabuklarına PCl_5 ve SF_6 moleküllerinin merkez atomları örnek verilebilir.

Molekül geometrisi, eğer bütün elektron çiftleri bağ yapmış ise elektron grubu geometrisi ile aynıdır. Bu durumda VSEPR gösterimi AX_n şeklindedir (örneğin, AX_2, AX_3, AX_4 gibi). Çizelge 10.1 de AX_n şeklindeki



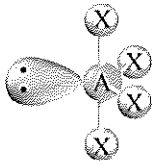
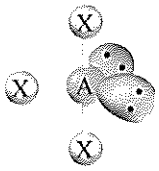
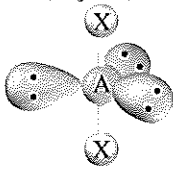
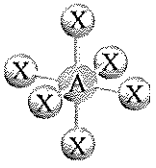
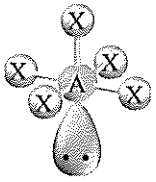
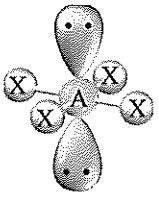
▶ ŞEKİL 10-12
Bazı elektron grubu geometrileri
Fotografta üçgen düzlem (turuncu), dörtyüzlü (gri), üçgen bipiramit (pembe) ve sekizyüzlü (sarı) elektron grubu geometrileri gösterilmiştir. Balonların ucundaki atomlar bu modelde önemli değildir ve gösterilmemiştir.

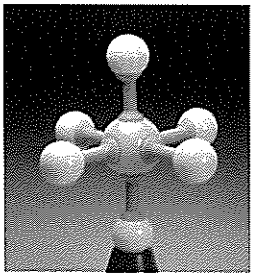
ÇİZELGE 10.1 Elektron Grubu Geometrisi ve Molekül Geometrisi

Elektron Grubu Sayısı	Elektron-Grubu Geometrisi	Ortaklanmamış Elek. Çifti Sayısı	VSEPR Gösterimi	Molekül Geometrisi	İdeal Bağ Açıları	Örnek	
2	doğrusal	0	AX_2	 (doğrusal)	180°	$BeCl_2$	
3	üçgen düzlem	0	AX_3	 (üçgen düzlem)	120°	BF_3	
	üçgen düzlem	1	AX_2E	 (açısal)	120°	SO_2[a]	
4	dörtyüzlü	0	AX_4	 (dörtyüzlü)	109,5°	CH_4	
	dörtyüzlü	1	AX_3E	 (üçgen piramit)	109,5°	NH_3	
	dörtyüzlü	2	AX_2E_2	 (açısal)	109.5°	OH_2	
5	üçgen bipiramit	0	AX_5	 (üçgen bipiramit)	90°, 120°	PCl_5	

(devam ediyor)

ÇİZELGE 10.1 Elektron Grubu Geometrisi ve Molekül Geometrisi (devam ediyor)

Elektron Grubu Sayısı	Elektron-Grubu Geometrisi	Ortaklanmamış Elek. Çifti Sayısı	VSEPR Gösterimi	Molekül Geometrisi	İdeal Bağ Açıları	Örnek
	üçgen bipiramit	1	AX_4E[b]	 (tahteravalli)	90°, 120°	SF_4
	üçgen bipiramit	2	AX_3E_2	 (T-şekli)	90°	ClF_3
	üçgen bipiramit	3	AX_2E_3	 (doğrusal)	180°	XeF_2
6	sekizyüzlü	0	AX_6	 (sekizyüzlü)	90°	SF_6
	sekizyüzlü	1	AX_5E	 (kare piramit)	90°	BrF_5
	sekizyüzlü	2	AX_4E_2	 (kare düzlem)	90°	XeF_4

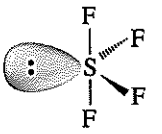


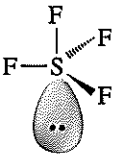
[a] SO_2 in yapısı için sayfa 428'e bakınız.
[b] Ortaklanmamış elektron çiftlerinin bu yapıdaki yerleri için sayfa 427'ye bakınız.

moleküllerin top ve çubuk modellerinin fotoğrafları görülmektedir. Eğer bir veya daha fazla elektron çifti ortaklanmamış elektron çifti ise, molekül geometrisi, her ne kadar ondan türemiş olsa da, elektron grubu geometrisinden farklıdır. Elektron grubu geometrisi ile molekül geometrisi arasındaki ilişki Çizelge 10.1 de özetlenmiştir. Çizelge 10.1 deki bütün durumları anlayabilmek için iki kavrama daha gereksinim vardır.

- *İki elektron çiftinin birbirine yaklaşmaya zorlanması, aralarındaki itmeyi arttırır.* İki elektron çifti arasındaki itme 90° lik açıda, 120° ve 180° lik açılara göre daha fazladır.
- *Ortaklanmamış elektron çiftleri bağlayıcı elektron çiftlerine göre daha çok yer kaplarlar.* Bunun sonucunda bağ yapmamış olan iki elektron çifti arasındaki itme, iki bağlayıcı çift arasındakine göre, daha büyüktür. Bu itme kuvvetlerini kuvvetliden zayıfa doğru şu şekilde sıralayabiliriz:

Ortaklanmamış elektron çifti—ortaklanmamış elektron çifti > ortaklanmamış elektron çifti—bağlayıcı elektron çifti > bağlayıcı elektron çifti—bağlayıcı elektron çifti





Şimdi VSEPR gösterimi AX_4E olan SF_4 molekülünü göz önüne alalım. Yapı için iki olasılık vardır: Doğru yapıda (üstte) ortaklanmamış elektron

ÖRNEK 10-7 Geometrinin Belirlenmesinde VSEPR Kuramının Kullanılması

Çok atomlu ICl_4^- anyonunun molekül geometrisini belirleyiniz.

Analiz

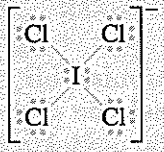
Bu problemi çözmek için sayfa 428 de sıralanan dört adımı uygulayınız.

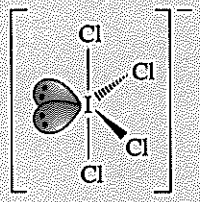
Çözüm

Adım 1. Lewis yapısını yazınız. Değerlik elektronları sayısı 36 dır.

I'dan	Cl'dan	−1 iyonik yükten	
(1×7)	(4×7)	1	$= 36$

Merkez I atomuna 4 Cl atomunu bağlamak ve bütün atomların oktetlerini tamamlamak için 32 elektrona gereksinim vardır. *Fazla* dört elektronu I atomu etrafına iki ortaklanmamış elektron çifti şeklinde yerleştirirsek, bu atomun değerlik tabakası genişletmiş oluruz. Böylece, yapı içine gerekli tüm elektronlar yerleşir ve Lewis yapısı elde edilir.



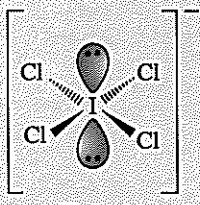


(Yanlış)

Adım 2. I atomu etrafında *dört bağlayıcı* ve *iki de ortaklanmamış* olmak üzere altı elektron çifti vardır.

Adım 3. Altı elektron çiftinin yönlenmesiyle oluşan elektron grubu geometrisi *sekizyüzlüdür.*

Adım 4. ICl_4^- anyonu AX_4E_2 tipindedir ve Çizelge 10.1 e göre molekül geometrisi kare düzlemdir.



(Doğru)

▲ ŞEKİL 10-13
Örnek 10-10'un gösterimi
ICl_4^- iyonunun gözlenen yapısı, kare düzlemdir. İyodun formal yükü −1 dir (yukarıdaki yapıda gösterilmemiştir).

Değerlendirme

Şekil 10-13 de görüldüğü gibi ICl_4^- iyonunun bağlayıcı ve ortaklanmamış elektron çiftleri iki yönlenme olasılığına sahiptir. Kare düzlem yapı, ortaklanmamış elektron çifti – ortaklanmamış elektron çifti etkileşiminin 180° olması nedeniyle doğru olan yapıdır. Doğru olmayan yapıda bu etkileşim 90° dir ve kuvvetli itme oluşturur.

ALIŞTIRMA A: Azot triklorürün molekül geometrisini belirleyiniz.

ALIŞTIRMA B: Benzin katkı maddeleri, hidrolik sıvılar ve yanma geciktiriciler üretiminde önemli bir kimyasal madde olan fosforil klorürün, $POCl_3$, molekül geometrisini belirtiniz.

UNUTMAYINIZ

Bir Lewis yapısının merkez atomunda sekizden fazla elektron bulunması gerektiğinde genişlemiş değerlik kabuğu kavramını kullanırız. Bu durum, merkez atomda beş ya da altı elektron çifti grubu bulunan bir yapının oluşmasına yol açar. Diğer durumlarda, VSEPR kuramına uygun oktet temelli Lewis yapıları son derece başarılıdır.

çifti, bipiramidin merkez düzlemindedir. Bunun sonucunda ortaklanmamış elektron çiftiyle bağlayıcı elektron çiftleri arasında iki tane 90° lik açı oluşur. Eğer bu elektronları piramidin tepesine yerleştirirsek (altta) 90° lik açı sayısı üç olur. Bu durum daha az olasıdır.

VSEPR Kuramının Uygulanması

Molekül geometrilerini belirlemek için şu dört basamaklı yöntem uygulanabilir:

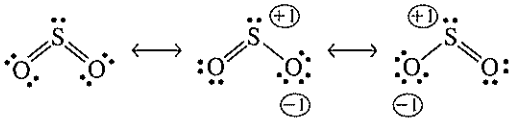
1. Molekül ya da çok atomlu iyonun uygun Lewis yapısını yazınız.
2. Merkez atom etrafındaki elektron gruplarının sayısını ve bunların *bağlayıcı* ya da *ortaklanmamış elektron çiftleri* olup olmadıklarını belirleyiniz.
3. Merkez atom etrafındaki elektron grubu geometrisini doğrusal, üçgen düzlem, dörtyüzlü, üçgen bipiramit ya da sekizyüzlü olarak saptayınız.
4. Merkez atom etrafındaki diğer atom çekirdeklerinin oluşturduğu molekül geometrisini, Çizelge 10-1 deki verilerden de yararlanarak belirleyiniz.

10-8 KAVRAM DEĞERLENDİRME

ICl_2^- ve ICl_2^+ iyonları arasında sadece iki elektron farkı vardır. Bunların geometrik yapılarının aynı olmasını bekler misiniz? Açıklayınız.

Katlı Kovalent Bağ İçeren Yapılar

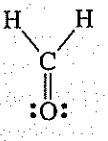
Katlı kovalent bağda, bağdaki tüm elektronlar bağlanan atomlar arasında yoğunlaşmıştır ve birlikte bir elektron grubu oluştururlar. Bu düşünceyi kükürt dioksidin molekül geometrisini belirlemek için kullanalım. S merkez atomdur ve toplam değerlik elektronu sayısı $3 \times 6 = 18$'dir. Lewis yapısı ise, aşağıda verilen üç yapının katkıda bulunduğu bir rezonans melezidir.



İkili kovalent bağdaki elektronları bir grup olarak saydığımıza göre, S merkez atomu etrafındaki elektron grubu sayısı üç olup, elektron grubu geometrisi *üçgen düzlemdir*. Bu üç elektron çiftinden ikisi bağlayıcı, biri de ortaklanmamış çifttir. Bu, Çizelge 10-1 deki AX_2E durumudur. Molekül geometrisi *açısaldır*. Bağ açısının 120° olması beklenir, ancak ortaklanmamış elektron çiftinin bağ elektronlarını kuvvetle itmesi nedeniyle, SO_2 de ölçülen bağ açısı 119° dir.

ÖRNEK 10-11 Katlı Kovalent Bağ İçeren Bir Molekülün Geometrisini Belirlemede VSEPR Kuramının Kullanılması

Melamin reçineleri gibi birçok polimerin üretilmesinde kullanılan formaldehidin, H_2CO, molekül geometrisini belirleyiniz. H_2CO molekülünün Lewis yapısı yanda gösterilmiştir.



Analiz

Lewis yapısından karbon-oksijen bağının ikili bağ olduğunu görüyoruz. İkili ve üçlü bağ içeren moleküllerde bu bağları, tek bir elektron grubu gibi dikkate alırız.

Çözüm

Lewis yapısında toplam 12 değerlik elektronu vardır ve C merkez atomudur. Karbon atomunun bütün bağları tekli bağ olursa okteti eksik olur. Bu eksiklik, O atomundan ortaklanmamış bir elektron çiftinin karbon—oksijen bağına, bu bağı ikili bağ yapacak şekilde kaydırılmasıyla giderilir.

C atomu etrafında üç elektron grubu oluşur. Bunlardan ikisi karbon—hidrojen tekli bağlarında ve üçüncüsü de karbon—oksijen ikili bağındadır. Üç elektron grubu için elektron grup geometrisi üçgen *düzlemdir*. Bütün elektron grupları bağ oluşturduğu için bu molekülün VSEPR gösterimi AX_3 dür. Molekül geometrisi de *üçgen düzlemdir*.

Değerlendirme

Molekül geometrisi üçgen düzlem olduğundan, iki H—C bağı arasındaki açının 120° ye yakın olmasını bekleriz.

ALIŞTIRMA A: COS molekülünün geometrisini belirleyiniz.

ALIŞTIRMA B: Nitröz oksit, N_2O, güldürücü gaz olarak bilinir ve dişçilikte *anestetik* olarak kullanılır. N_2O molekülünün geometrisini belirleyiniz.

Birden Fazla Merkez Atomlu Moleküller

Şimdiye değin gördüğümüz yapıların çoğu tek bir merkez atomu içermekteydi. Oysa VSEPR kuramını birden fazla merkez atomu olan moleküllere ya da çok atomlu anyonlara da uygulayabiliriz. Bu iş için yapmamız gereken şey, uç atomların *her* merkez atomu etrafında geometrik dağılımını yaptıktan sonra, bunu tek bir molekül şekli içinde bir araya getirmektir. Bu kavramı Örnek 10-12 de kullanacağız.

ÖRNEK 10-12 Birden Fazla Merkez Atomlu Bir Moleküle VSEPR Kuramının Uygulanması

Metil izosiyonat, CH_3NCO, bazı böcek öldürücü ilaçların üretiminde kullanılır. CH_3NCO molekülünde bir O atomu ve üç H atomu uç atomlardır. İki C ve bir N atomu ise merkez atomdur. Bu molekül için kama ve kesikli kama simgelerini kullanarak uygun bir şekil öneriniz ve bağ açılarını gösteriniz.

Analiz

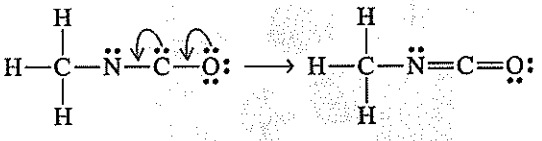
Öncelikle uygun bir Lewis yapısından başlayalım. Daha sonra, her bir atomun etrafındaki elektron grup geometrisini belirleyip, bağ çiftleri arasındaki açıları tahmin edelim.

Çözüm

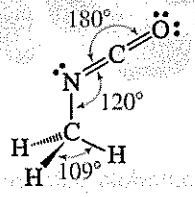
Yapıdaki değerlik elektronları sayısı 22 dir.

C dan	N dan	O den	H den	
(2×4)	(1×5)	(1×6)	(3×1)	$= 22$

İskelet yapının yazılmasından ve değerlik elektronlarının dağıtılmasından sonra eksik oktetli bir yapı elde ederiz. Aşağıda gösterilen elektronların kaydırılmasından sonra bütün atomların okteti tamam olur.



Soldaki C atomu etrafında hepsi bağlayıcı çift olan dört elektron grubu vardır. Molekülün bir ucunun şekli dörtyüzlüdür. Sağdaki C atomunun iki ikili bağı, *iki* elektron grubu olarak sayılır. Bu dağılım *doğrusaldır*. N atomunda *üç* elektron grubu *üçgen düzlem* şeklinde dağılmıştır. C—N—C bağ açısı yaklaşık 120° olmalıdır.



Değerlendirme

Yukarıda izlenen yöntem çeşitli karmaşık moleküllere de uygulanabilir.

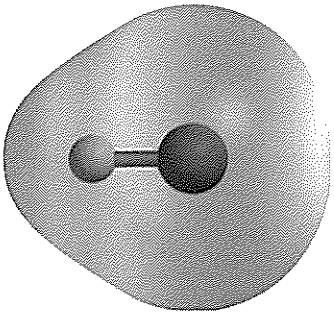
(devam ediyor)

ALIŞTIRMA A: Metanol molekülü, CH_3OH, için kama ve kesikli kama simgelerini kullanarak uygun bir şekil öneriniz. Moleküldeki bağ açılarını belirtiniz.

ALIŞTIRMA B: Glisin, H_2NCH_2COOH formülünde bir amino asittir. Glisin molekülü için kama ve kesikli kama simgelerini kullanarak bir şekil öneriniz ve moleküldeki bağ açılarını belirtiniz.

10-9 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Metilizosiyanat, CH_3NCO, üç farklı Lewis yapısının bir melezi olarak gösterilebilir. En uygun yapılardan biri yukarıda Örnek10-12'de verilmiştir. Öteki iki yapıyı çiziniz. Formal yüklerine göre en aykırı yapı hangisidir?



Molekül Geometrisi ve Dipol Momentler

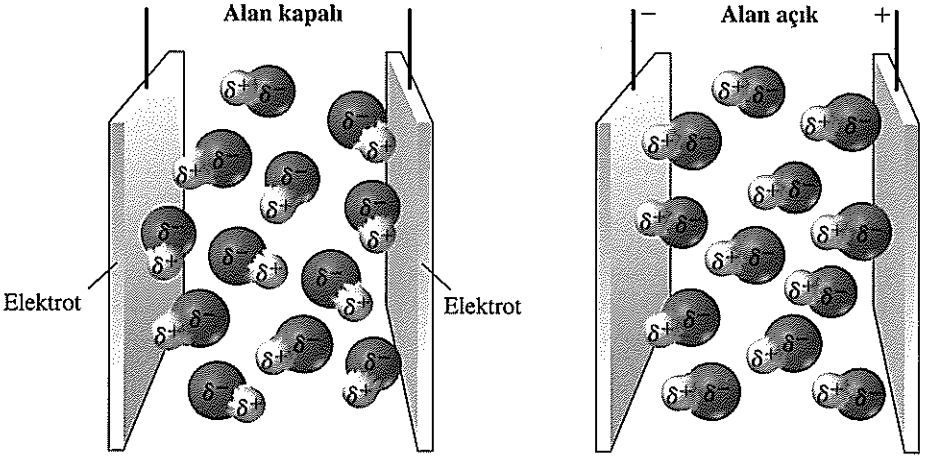
Kesim 10-3 de polar kovalent bağlar hakkında öğrendiklerimizi hatırlayalım. HCl molekülünde Cl atomu H atomuna göre daha elektronegatiftir. Elektronlar, yandaki elektrostatik potansiyel haritasında görüldüğü gibi Cl atomu etrafında daha çok bulunur. HCl molekülü **polar bir moleküldür.** Aşağıdaki gösterimde polarlanma, elektronları daha kuvvetli çeken atoma doğru yönelmiş bir haçlı ok (⟷) ile gösterilmiştir.

$$^{\delta+}H \longleftrightarrow Cl^{\delta-}$$

Polar kovalent bir bağda, yük dağılımındaki farklılık **dipol moment,** μ, ile verilir. Dipol moment, yük (δ) ve uzaklığın (d) bir çarpımıdır.

$$\mu = \delta \times d \qquad \textbf{(10.25)}$$

Bu çarpım, $\delta \times d$, değeri $3{,}34 \times 10^{-30}$ coulomb·metre (C·m) olduğunda, dipol moment (μ) değeri 1 *debye*, *D*, dir. Dipol momentin, polar moleküllerin elektriksel alandaki davranışlarına dayalı deneysel tayin yöntemi Şekil 10-14 de gösterilmiştir.



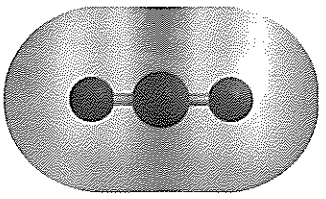
▲ ŞEKİL 10-14
Bir elektrik alanındaki polar moleküller
Resimdeki düzeneğe elektrik kondensörü (ya da kapasitör) denir. Bu düzenek elektriği iletmeyen, ancak polar molekülleri içeren bir ortamla ayrılmış iki elektrottan oluşur. **(a)** Elektrik alanı kapatıldığında moleküller rastgele yönlenir. **(b)** Elektrik alanı açıldığında, polar moleküllerin negatif uçları pozitif elektroda, pozitif uçları da negatif elektroda doğru yönelir.

Sayfa 402'de gösterildiği gibi, H—Cl bağının polarlığı, elektron yükünün Cl atomuna doğru kaymasından kaynaklanır. Bu kayma sonucu, artı ve eksi yük merkezleri birbirinden ayrılır. Aslında, elektron yük yoğunluğunun kayması yerine, aynı anlama gelen, bir elektron yükünün belli bir *kesrinin* H atomundan Cl atomuna, çekirdekler arası uzaklık boyunca aktarıldığını söyleriz ve aktarılan bu yükü δ ile gösteririz. Şimdi bu molekülde δ değerini hesaplayalım. Dipol momenti, 1,03 *D* ve H—Cl bağ uzunluğunu 127,4 pm ölçtüğümüzde, kısmi yük δ'nın değerini (10.25) bağıntısından bulabiliriz.

$$\delta = \frac{\mu}{d} = \frac{1{,}03\ \text{D} \times 3{,}34 \times 10^{-30}\ \text{C} \cdot \text{m/D}}{127{,}4 \times 10^{-12}\ \text{m}} = 2{,}70 \times 10^{-20}\ \text{C}$$

Bu yük, bir elektron yükünün ($1{,}60 \times 10^{-19}$ C) yaklaşık % 17 sidir ve HCl molekülünün yaklaşık % 17 iyonik olduğunu gösterir. HCl bağının bu iyonik karakteri, elektronegatiflik farkına dayalı % 20'lik sonuçla iyi bir uyum göstermektedir (Örnek 10-4).

CO_2. Bu molekül *apolardır* (polar değildir). Bu gerçeği açıklayabilmek için elektron yük yoğunluğunun belli bir bağda dağılımı ile bütün molekülde dağılımı arasındaki farkı bilmeliyiz. C ve O arasındaki elektronegatiflik farkı, bu iki atom arasındaki elektron yük yoğunluğunun her iki bağda da O atomuna doğru kaymasına ve *bağ dipolü* oluşmasına yol açar. Fakat bu iki bağ dipolü, eşit büyüklükte ve zıt yönlerde olduklarından, birbirlerini yok ederler ve *sonuçta* molekülün dipol momenti sıfır olur. Elektron yük yoğunluğunun simetrik olduğu, yan tarafta görülen CO_2 in elektrostatik potansiyel haritasından da açıkça görülebilmektedir.



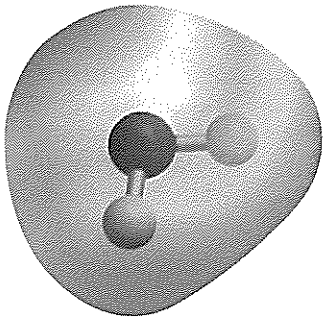
▲ Karbon dioksidin elektrostatik potansiyel haritası

$$\overleftrightarrow{\text{O}}\text{—C}\overrightarrow{\text{—O}} \qquad \mu = 0$$

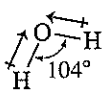
CO_2 in apolar olması bu molekülün doğrusal bir molekül olduğunu belirtir. Lewis yapısına dayalı VSEPR kuramına göre de CO_2 in doğrusal bir molekül olduğunu söyleyebiliriz.

$$:\ddot{\text{O}}\text{=C=}\ddot{\text{O}}:$$

H_2O. Bu molekül *polardır*. H ve O atomları arasındaki elektronegatiflik farkı nedeniyle, bağ momentleri vardır. Suda bu bağ momentlerinin bileşkesi 1,84 D bulunmuştur. Suyun elektrostatik potansiyel haritası, su molekülünün net dipol momenti için görsel bir kanıt oluşturur. Bağ momentleri birbirlerini yok edemediklerine göre, molekül CO_2 molekülü gibi doğrusal olamaz. VSEPR kuramına göre H_2O molekülünün açısal olduğunu söylemiştik. Molekülün polar olması bunu doğrular.



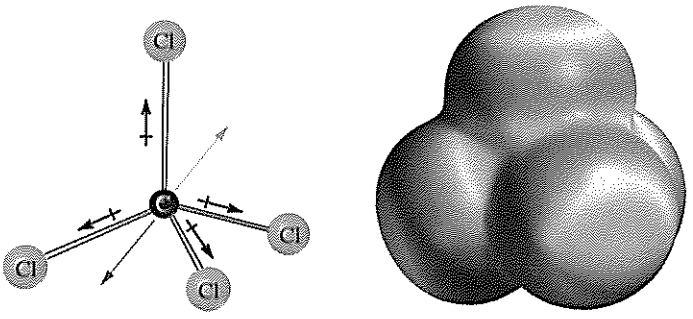
▲ Suyun elektrostatik potansiyel haritası



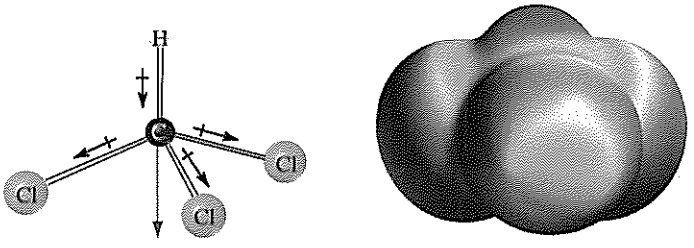
CCl_4. Bu molekül *apolardır*. Cl ve C arasındaki büyük elektronegatiflik farkı nedeniyle, C—Cl bağının büyük bir bağ momenti olması gerekir. Dipol momentin sonuçta *sıfır* olması, bağ momentlerinin birbirlerini yok edecek şekilde yönlemesindendir. CCl_4 ün dörtyüzlü molekül geometrisi, bağ momentleri bileşkesinin sıfır olmasını sağlar. Bu durum Şekil 10-15(a) da gösterilmiştir. Farklı elektronegatifliğe sahip olan bir atomla, örneğin H gibi bir atomla Cl atomlarından birini yer değiştirdiğimizde molekülün polar olacağını görebiliyor musunuz? Bu durumda $CHCl_3$ molekülündeki bağ momentlerinin bileşkesi sıfırdan farklıdır ve molekülün net bir dipol momenti vardır (Şekil 10-15b).

UNUTMAYINIZ

Molekülün dipol momenti yoksa molekül geometrisinin dörtyüzlü mü, yoksa kare düzlem mi olduğunu anlayamayız. Bunu anlamak için X-ışını kırınımı gibi deneysel verilere gereksinim duyulur.



(a) CCl_4: Polar olmayan bir molekül



(b) $CHCl_3$: Polar bir molekül

▶ ŞEKİL 10-15
Molekül geometrileri ve dipol momentler
(a) C—Cl bağ dipollerinden ikisinin bileşkesi kırmızı, diğer ikisininki ise mavi okla gösterilmiştir. Kırmızı ve mavi oklar, zıt yönde olduğundan birbirlerini yok ederler. CCl_4 molekülü bu nedenle apolardır. CCl_4 molekülünün elektrostatik potansiyel haritasında yükün dengeli dağılımı açıkça görülmektedir. **(b)** Kloroformda bağ dipollerinin bileşkesi, 1,04 D lık kalıcı bir dipol moment (kırmızı ok) oluşturur. Elektrostatik potansiyel haritası, hidrojen atomunun kısmi bir pozitif yüke sahip olduğunu göstermektedir.

ÖRNEK 10-13 Moleküllerin Geometrik Şekilleri ile Net Dipol Momentleri Arasındaki İlişki

Şu moleküllerden hangilerinin polar olmasını beklersiniz? Cl_2, ICl, BF_3, NO, SO_2?

Analiz

Molekül şeklini belirlemek için daha önce verilen yöntemleri kullanacağız ve varsa bağ dipollerinin kalıcı net bir dipol moment oluşturup oluşturmadığını araştıracağız.

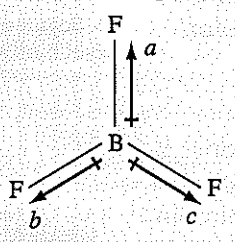
Çözüm

Polar olanlar: ICl, NO, SO_2 molekülleridir. ICl ve NO bağlanan atomlar arasında elektronegatiflik farkı olan iki atomlu moleküllerdir. SO_2 molekülü ise S ve O atomları arasında elektronegatiflik farkı olan açısal bir moleküldür.

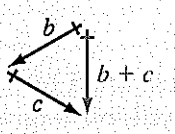
Apolar olanlar: Cl_2 ve BF_3 molekülleridir. Cl_2 eş atomlardan oluşan iki atomlu bir moleküldür ve elektronegatiflik farkı yoktur. BF_3 için Çizelge 10-1 e bakınız. BF_3 simetrik ve düzlemseldir (120° bağ açılı). B—F bağ momentleri birbirlerini yok ederler.

Değerlendirme

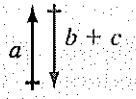
Bağ dipolleri vektörel büyüklüklerdir. Onları toplarken, aşağıda gösterildiği gibi "baştan kuyruğa" doğru vektörel olarak toplamalıyız.



Bağ dipolleri a, b ve c olarak etiketlenir.



b ve c nin baştan kuyruğa doğru vektörel toplamı, $(b + c)$ vektör toplamını verir.



a ve $b + c$ vektör toplamı, sıfır uzunluğunda vektördür (dipol yok).

ALIŞTIRMA A: Şu bileşiklerden sadece biri polardır. Hangisi ve neden? SF_6, H_2O_2, C_2H_4.

ALIŞTIRMA B: Şu bileşiklerden sadece biri *apolardır*. Hangisi ve neden? Cl_3CCH_3, PCl_5, CH_2Cl_2, NH_3.

10-10 KAVRAM DEĞERLENDİRME

NH_3 molekülünün dipol momenti μ =1,47 D ve benzer yapıda olan NF_3 molekülünün dipol momenti 0,24 D'dır. Bu iki değerin bu kadar farklı olmasını nasıl yorumlarsınız? [*İpucu*: N atomu üzerindeki bağa katılmayan elektronların etkilerini düşününüz.]

10-8 Bağ Derecesi ve Bağ Uzunlukları

Bir kovalent bağın *tekli* (bağ derecesi = 1), *ikili* (bağ derecesi = 2) ya da *üçlü* (bağ derecesi = 3) olup olmadığı **bağ derecesi** ile belirtilir. Kovalent bağ elektronlarını, atomları birbirine bağlayan "tutkal" olarak düşünelim. Bağ derecesi ne kadar büyükse atomlar arasında o kadar çok elektron var demektir. Bağdaki elektron sayısı arttıkça da atomlar daha sıkı bir arada tutulacaktır.

Bağ uzunluğu kovalent bağlı iki atomun merkezleri arasındaki uzaklıktır. Beklenildiği gibi, ikili bağ tekli bir bağdan daha kısa ve üçlü bağ da ikili bağdan daha kısadır. Bu ilişkiyi Çizelge 10.2 de azot—azot için verilen üç farklı bağ uzunluğunu kıyaslayarak açıkça görebilirsiniz. Örneğin, N_2 daki azot—azot bağı (üçlü bağ) 109,8 pm iken hidrazindeki, $H_2N—NH_2$, azot—azot (tekli bağ) 147 pm dir.

Kesim 9-3 de anlatılan kovalent yarıçapı kavramını şimdi daha iyi anlayabilirsiniz. Tekli kovalent yarıçapı, *tekli* kovalent bağla bağlı eş atomların merkezleri arasındaki uzaklığın yarısıdır. Buna göre, Şekil 9-9 daki klorun tekli kovalent yarıçapı (99 pm), Çizelge 10-2 de verilen bağ uzunluğunun yarısı yani $\frac{1}{2} \times 199$ pm dir. Bunu kabaca genellersek,

İki atom arasındaki kovalent bağın uzunluğu yaklaşık olarak iki atomun kovalent yarıçaplarının toplamıdır.

Örnek 10-14 de bağ uzunluklarıyla ilgili bu kavramlardan bazıları gösterilmiştir.

ÇİZELGE 10.2 Bazı Ortalama Bağ Enerjileri[a]

Bağ	Bağ Uzunluğu, pm	Bağ	Bağ Uzunluğu, pm	Bağ	Bağ Uzunluğu, pm
H—H	74,14	C—C	154	N—N	145
H—C	110	C=C	134	N=N	123
H—N	100	C≡C	120	N≡N	109,8
H—O	97	C—N	147	N—O	136
H—S	132	C=N	128	N=O	120
H—F	91,7	C≡N	116	O—O	145
H—Cl	127,4	C—O	143	O=O	121
H—Br	141,4	C=O	120	F—F	143
H—I	160,9	C—Cl	178	Cl—Cl	199
				Br—Br	228
				I—I	266

[a]Çoğu değerler farklı bileşiklerde bulunan aynı bağların uzunlukları ortalamasıdır ve birkaç pikometre farklı olabilir. İki atomlu moleküllerde (H_2, N_2, HF, ...) ise gerçek bağ uzunlukları verilmiştir ve daha kesindir.

ÖRNEK 10-4 Bağ Uzunluklarının Hesaplanması

Şu bağ uzunluklarını hesaplayınız: **(a)** NH_3 molekülünde azot—hidrojen bağı; **(b)** BrCl molekülünde brom—klor bağı.

Analiz

Herhangi bir A—B bağı, bağ listelerinde yoksa bu durumda A—A ve B—B'nin bağ uzunluklarına bakılır. A—B bağ uzunluğu, A—A ve B—B'nin bağ uzunluklarının yarıları toplanarak bulunur.

Çözüm

(a) Amonyağın Lewis yapısı (sayfa 400) azot—hidrojen bağlarının tekli bağlar olduğunu göstermektedir. Çizelge 10.22 de N—H bağının 100 pm olduğu verilmiştir ve bizim belirteceğimiz değer de budur. (NH_3 molekülündeki N—H bağının uzunluğu 101,7 pm olarak ölçülmüştür.)

(b) Brom—klor bağının uzunluğunu Çizelge 10.2 de bulamayız. Bağ uzunluğu ve kovalent yarıçapı ilişkisinden, yaklaşık bağ uzunluğunu hesaplamamız gerekir. BrCl bir Br—Cl tekli bağı içerir [(10.4) yapısındaki bir Cl atomunun bir Br atomuyla yer değiştirdiğini düşününüz]. Br—Cl bağının uzunluğu, Cl—Cl bağ uzunluğunun yarısı ile Br—Br bağ uzunluğunun yarısının *toplamı*dır:

$$\left(\tfrac{1}{2} \times 199\ \text{pm}\right) + \left(\tfrac{1}{2} \times 228\ \text{pm}\right) = 214\text{pm}.$$ (ölçülen bağ uzunluğu 213,8 pm dir.)

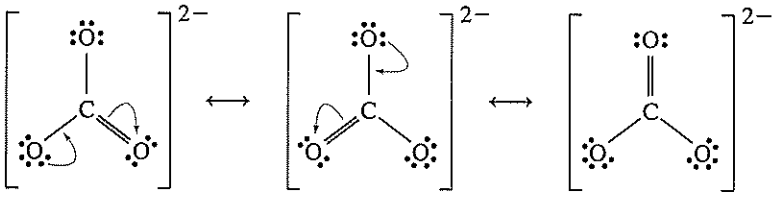
Değerlendirme

Çizelge 10.2 deki veriler, çeşitli bağların bağ uzunluklarını hesaplamakta kullanılabilir.

ALIŞTIRMA A: CH_3Br molekülünde karbon—hidrojen ve karbon—brom bağlarının uzunluklarını hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: SCN^- iyonunda C-O bağ uzunluğu 115 pm ölçülmüştür. Bu iyona uygun bir Lewis yapısı yazınız ve geometrisini belirtiniz.

Rezonans yapıları olan moleküllerde ilginç bir durum ortaya çıkar. Bu moleküllerde kesirli bağ dereceleri olabilir. Örneğin, aşağıda rezonans yapıları verilen CO_3^{2-} iyonunu düşünelim.



Her bir rezonans yapısında iki tek ve bir çift bağ vardır. Karbonat iyonunun gerçek yapısı, bu üç rezonans yapısının bir bileşkesi olduğundan, ortalama bağ derecesi $\frac{1}{3}$ [1+1+2]= $1\frac{1}{3}$ olmalıdır. Kesirli bağ derecesinden beklendiği gibi, karbonat anyonundaki CO bağ uzunluğu, C—O tek bağı (143 pm) ve C=O ikili bağı (120 pm) uzunlukları arasında olup 129 pm dir.

10-11 KAVRAM DEĞERLENDİRME

NO_2^- ve NO_2^+ aynı atomlardan oluşmuştur. Bu iki iyondaki N—O bağ uzunluklarını karşılaştırınız.

10-9 Bağ Enerjileri

Önerilen Lewis yapısının uygun olup olmadığının irdelenmesinde bağ uzunlukları ile birlikte bağ enerjileri de kullanılabilir. Bağ enerjisi, bağ uzunluğu ve bağ derecesi birbiriyle ilişkilidir. Bağ derecesi arttıkça iki atom arasındaki bağ uzunluğu azalır ve bağ enerjisi artar.

Atomlar kovalent bağ yapmak üzere bir araya gelirlerse enerji *salınır* ve bu bağın ayrışması sırasında da aynı miktar enerji *soğurulur*. **Bağ ayrışma enerjisi (*D*),** *gaz halinde* bir bileşikte bir mol kovalent bağı koparmak için gerekli enerji miktarıdır. Bu enerji SI birimlerinde bir mol bağ başına kilojoule (kJ/mol) olarak ifade edilir.

Bölüm 7 de gösterildiği gibi, bağ ayrışma enerjisini bir entalpi değişimi ya da tepkime ısısı olarak düşünebiliriz. Örneğin,

Bağ ayrışması: $H_2(g) \longrightarrow 2\,H(g)$ $\quad \Delta H = D(H{-}H) = +435{,}93\ kJ/mol$

Bağ oluşması: $2\,H(g) \longrightarrow H_2(g)$ $\quad \Delta H = -D(H{-}H) = -435{,}93\ kJ/mol$

Bir tane tekli bağ içeren iki atomlu bir molekülün bağ enerjisinin anlamı açıktır. $H_2(g)$ örneğinde olduğu gibi, iki atomlu bir molekülün bağ ayrışma enerjisinin daha duyarlı verilmesini anlamak zor değildir. H_2O gibi çok atomlu bir molekülde ise durum farklıdır (Şekil 10-16). H_2O molekülünden bir O—H bağının koparılmasıyla 1 mol H atomunun oluşması için gerekli enerji,

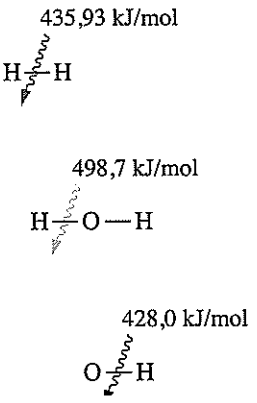
$$H{-}OH(g) \longrightarrow H(g) + OH(g) \qquad \Delta H = D(H{-}OH) = +498{,}7\ kJ/mol$$

OH(g) daki bağdan bir mol H atomunun ayrılması için gerekli olan enerjiden farklıdır.

$$O{-}H(g) \longrightarrow H(g) + O(g) \qquad \Delta H = D(O{-}H) = +428{,}0\ kJ/mol$$

H_2O'daki iki O—H bağı eşdeğerdir ve eşdeğer enerjileri vardır. Bu enerjiye H_2O'daki O—H bağ enerjisi diyoruz. Bu enerji yukarıdaki iki enerjinin *ortalaması* olan 463,4 kJ/mol dür. OH grubu içeren başka bir moleküldeki O—H bağı enerjisi H—O—H da olduğundan biraz farklı olabilir. Örneğin, metanolde, CH_3OH, bağ ayrışma enerjisi D (H—OCH_3) şeklinde gösterilir ve 436,8 kJ/mol dür. Bağ enerjilerinin çizelgelerde verilen değerleri (Çizelge 10.3) genellikle *ortalama* değerlerdir. Bir bağın **ortalama bağ enerjisi,** bu bağı içeren değişik yapıların bağ ayrışma enerjilerinin ortalamasıdır. Buradan, ortalama bağ enerjilerinin, belli bir bağın ayrışma enerjisi kadar duyarlı sayılarla gösterilemeyeceği anlaşılabilir.

Çizelge 10.3 den de görebileceğiniz gibi, ikili bağların bağ enerjileri aynı atomlar arasındaki tekli bağlarınkinden yüksektir; fakat iki katı *değil-*



▲ ŞEKİL 10-16
Bazı bağ enerjilerinin karşılaştırılması
Bütün H—H bağlarının ayrışması için aynı miktar enerji, 435,93 kJ/mol gereklidir. H_2O'da ise ilk bağı koparmak için gerekli enerji (498,7 kJ/mol) ikinci bağı koparmak için gerekenden (428,0 kJ/mol) daha fazladır. İkinci bağ OH radikalinde ayrışmaktadır. H_2O daki O—H bağ enerjisi bu iki değerin ortalaması olan 463,4 kJ/mol dür.

ÇİZELGE 10.2 Bazı Ortalama Bağ Enerjileri[a]

Bağ	Bağ Enerjisi, kJ/mol	Bağ	Bağ Enerjisi, kJ/mol	Bağ	Bağ Enerjisi, kJ/mol
H—H	436	C—C	347	N—N	163
H—C	414	C=C	611	N=N	418
H—N	389	C≡C	837	N≡N	946
H—O	464	C—N	305	N—O	222
H—S	368	C=N	615	N=O	590
H—F	565	C≡N	891	O—O	142
H—Cl	431	C—O	360	O=O	498
H—Br	364	C=O	736[b]	F—F	159
H—I	297	C—Cl	339	Cl—Cl	243
				Br—Br	193
				I—I	151

[a] Listedeki tüm veriler aynı kesinlikte (üç anlamlı rakam) verilmesine karşın, gerçekte bazı verilerin kesinliği daha yüksektir. Örneğin, H_2, HF, HCl, HBr, HI, N_2 (N≡N), O_2 (O=O), F_2, Cl_2, Br_2, ve I_2 gibi iki atomlu moleküllerin verilen bağ enerjileri, ortalama değerler değil, gerçek bağ ayrışma enerjileridir.

[b] CO_2 deki C=O bağları için bu değer 799 kJ/mol dür.

UNUTMAYINIZ
Çizelgede verilen bağ enerjisi değerleri, birbirlerinden bağımsız gaz molekülleri içindir. Sıvılarda ve katılarda moleküller birbirlerinden bağımsız olmadığından, bu değerler geçerli değildir.

dir. Üçlü bağlar için de aynı durum geçerlidir. Bir sonraki bölümde katlı bağları daha ayrıntılı olarak ele alacağız ve bağ derecesi ve bağ enerjisi hakkındaki bu gözlemin oldukça mantıklı olduğunu göreceğiz.

Bağ enerjilerinin termokimyada da bazı ilginç uygulamaları vardır. *Gazları* içeren aşağıdaki tepkimeye bir göz atalım.

$$\text{gaz tepkenler} \longrightarrow \text{gaz atomlar} \longrightarrow \text{gaz ürünler}$$

Bu varsayımsal tepkimede, önce tepkimeye giren moleküllerin bağları kopmakta ve gaz halinde atomlar oluşmaktadır. Bu basamakta, bağ enerjisine BE dersek; entalpi değişimi, ΔH (bağ ayrışması) = $\sum$BE (tepkenler) olur. Daha sonra, gaz halindeki atomlar ürün moleküllerini oluşturacak şekilde bir araya gelmektedir. Bu basamakta bağlar oluşmakta ve ΔH (bağ oluşumu) = $-\sum$BE (ürünler) dir. Tepkimenin entalpi değişimi şöyledir:

UNUTMAYINIZ

Eşitlik (10.26)'daki fark, tepkimeye girenlerden ürünlerin çıkarılması ile hesaplanır, ürünlerden tepkimeye girenlerin çıkarılması ile değil.

$$\Delta H_{tep} = \Delta H(\text{bağ ayrışması}) + \Delta H\ (\text{bağ oluşumu})$$
$$\approx \sum \text{BE (tepkenler)} - \sum \text{BE (ürünler)} \qquad (10.26)$$

Eşitlik (10.26) daki yaklaşık eşittir simgesi (≈) kullanılan bağ enerjilerinden bazılarının gerçek bağ enerjileri olmadığını ancak gerçeğe yakın olan *ortalama* bağ enerjileri olduğunu göstermektedir. Yukarıdaki bağıntıda bazı bağların hem ürünlerde hem de tepkimeye girenlerde bulunması nedeniyle, bazı terimler birbirlerini yok ederler. Örnek 10-15 de gösterildiği gibi ΔH değerinin hesaplanması kırılan ve oluşan bağların *net* sayısı ve türüne bağlıdır.

ÖRNEK 10-15 Tepkime Entalpisinin Bağ Enerjilerinden Hesaplanması

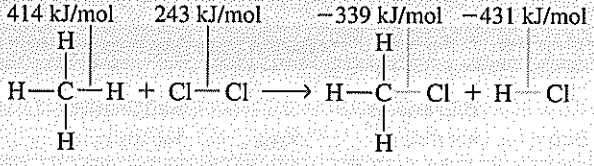
Metan (CH_4) ve klorun tepkimesi klormetanlar denen ürünlerin bir karışımını verir. Bu klormetanlardan biri olan monoklormetan, CH_3Cl, silikonların elde edilmesinde kullanılır. Aşağıdaki tepkimenin ΔH değerini hesaplayınız.

$$CH_4(g) + Cl_2(g) \longrightarrow CH_3Cl(g) + HCl(g)$$

Analiz

Hangi bağların kırılıp hangilerinin oluştuğunu belirlemek için, Şekil 10-17 de olduğu gibi yapı formüllerinin (veya Lewis yapılarının) çizilmesi yararlı olur. (10.26) eşitliğini eksiksiz uygulamak için *dört* C–H bağı ve *bir* Cl–Cl bağını kırmamız, buna karşılık üç C–H bağı, bir C–Cl bağı ve bir H–Cl bağı oluşturmamız gerekir. Ancak, *net* değişim, *bir* C–H ve *bir* Cl–Cl bağının kırılıp *bir* C–Cl ve *bir* H–Cl bağının oluşması şeklinde gerçekleşir.

Çözüm



▲ ŞEKİL 10-17
Bir kimyasal tepkimede net bağ ayrışması ve oluşması. Örnek 10-15 in gösterimi
Ayrışan bağlar kırmızı ve oluşan bağlar mavi ile gösterilmiştir. Değişime uğramayan bağlar siyahtır. Net değişim *bir* C—H ve *bir* Cl—Cl bağının ayrışması ile *bir* C—Cl ve *bir* H—Cl bağının oluşmasından ibarettir.

Net bağ kırılması için ΔH:	*1 mol C–H bağı* + 414 kJ
	1 mol Cl–Cl bağı + 243 kJ
	Toplam: +657 kJ
Net bağ oluşumu için ΔH:	*1 mol C–Cl bağı* − 339 kJ
	1 mol H–Cl bağı − 431 kJ
	Toplam: −770 kJ
Tepkime entalpisi:	$\Delta H = 657 - 770 = -113$ kJ

Değerlendirme

Hem ürünlerde hem de tepkenlerde bulunan aynı tür bağlar birbirini götürür. Bu, çoğu tepkimede rastlanan bir durumdur.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki tepkimenin entalpi değişimini, bağ enerjilerini kullanarak hesaplayınız.

$$2\,H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,H_2O(g)$$

ALIŞTIRMA B: $NH_3(g)$ molekülünün oluşum entalpisini, bağ enerjilerini kullanarak hesaplayınız.

Bölüm 7 de, $\Delta H^0_{ol.}$ değerlerini kullanarak ΔH'nin nasıl hesaplanacağını öğrenmiştik (Eşitlik 7.21'e bakınız). Eşitlik (10.26) ise, gaz fazı tepkimelerinde ΔH'nın hesaplanması için başka bir yol önermektedir. Bağ enerjileri kullanılarak yapılan hesaplamanın, oluşum entalpileri kullanılarak yapılan hesaplamaya herhangi bir üstünlüğü yoktur. Bağ enerjileri ortalama değerler iken, oluşum entaplileri genelde daha kesin değerler olarak bilinmektedir. Ancak oluşum entalpisi değerlerinin bilinmediği durumlarda, bağ enerjilerinden yararlanılarak, tepkime entalpileri başarılı bir şekilde hesaplanabilir.

Bağ enerjilerini, bir tepkimenin *endotermik* (ısı alan) veya *ekzotermik* (ısı veren) olduğunu tahmin etmek için de kullanabiliriz. Genel olarak,

$$\underset{\text{(tepkenler)}}{\text{zayıf bağlar}} \longrightarrow \underset{\text{(ürünler)}}{\text{kuvvetli bağlar}} \quad \Delta H < 0 \quad \text{(ekzotermik)}$$

ve

$$\underset{\text{(tepkenler)}}{\text{kuvvetli bağlar}} \longrightarrow \underset{\text{(ürünler)}}{\text{zayıf bağlar}} \quad \Delta H > 0 \quad \text{(endotermik)}$$

sonuçlarına varabiliriz. Bu kavram Örnek 10-16 da, oluşum entalpileri normal olarak listelenmemiş, oldukça etkin ve kararsız yapıları içeren bir tepkimeye uygulanmıştır.

ÖRNEK 10-16 Bağ Enerjilerini Kullanarak Tepkimelerin Ekzotermik veya Endotermik Olduğunun Belirlenmesi

Monoklormetanın (Örnek 10-15) oluşma basamaklarının birinde, gaz halindeki klor *atomu* (bir klor radikali) ile metan molekülü tepkimeye girmektedir. Oluşan ürünler kararsız bir metil radikali ve HCl(g) dir. Bu tepkime endotermik mi yoksa ekzotermik midir?

$$CH_4 + \cdot Cl(g) \longrightarrow \cdot CH_3(g) + HCl(g)$$

Analiz

Bu tepkimede, bir H–Cl bağının oluşması için bir C–H bağı kırılmaktadır. Bu nedenle, tepkimenin endotermik ve ekzotermik olduğuna karar vermek için, C–H ve H–Cl bağlarının bağ enerjilerini kıyaslamalıyız.

Çözüm

Tepkimeye giren her CH_4 molekülünde *bir* C—H bağı kopmakta ve bu 414 kJ/mol enerji gerektirmektedir. Oluşan *bir* H—Cl bağı ise 431 kJ/mol enerji açığa çıkarmaktadır. Yeni bağ oluşurken, tepkenlerdeki bağın kırılması için soğurulan enerjiden daha fazla enerji açığa çıktığından, tepkimenin ekzotermik olduğunu anlarız.

Değerlendirme

Bu örnekte, tek bir C–H bağı kırıp yine tek bir H–Cl bağı oluşturduk. Çoğu tepkimelerde, daha fazla bağlar kırılır ve oluşur. Bu nedenle, tepkimenin endotermik mi yoksa ekzotermik mi olduğu açıkça belli olmaz. Böyle durumlarda, (10.26) eşitliğini kullanarak ΔH değerini hesaplayıp $\Delta H > 0$ veya $\Delta H < 0$ olup olmadığını bulmamız gerekir.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki tepkime endotermik mi, yoksa ekzotermik midir?

$$CH_3COCH_3(g) + H_2(g) \longrightarrow (CH_3)_2CH(OH)(g)$$

ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki tepkimenin ekzotermik ya da endotermik olduğunu belirleyiniz:

$$H_2O(g) + Cl_2(g) \longrightarrow \frac{1}{2}\,O_2(g) + 2\,HCl(g)$$

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Mikrodalga ışımasını biliyor olmalısınız. Hiç mikrodalga fırında yiyecek ısıttınız veya pişirdiniz mi? Mikrodalga ışıması, moleküllerin dönmesi ile ilgili mikrodalga spektroskopisi bilim dalında önemli bir rol oynar. Bu spektroskopinin bağ uzunluklarının hassasiyetle ölçülmesi yanında, yıldızlar arası uzaydaki molekülleri belirlemede de nasıl kullanıldığını öğrenmek istiyorsanız bakınız: Focus On Feature for Chapter 10, Molecules in Space: Measuring Bond Lengths, on the MasteringChemistry site.

Özet

10-1 Lewis Kuramı: Genel Bakış— **Lewis simgesi,** bir atomun değerlik elektronlarını kimyasal simgesi etrafında noktalar halinde gösterir. **Lewis yapısı,** kimyasal bağlanmanın gösteriminde kullanılan Lewis simgelerinin biraraya getirilmiş halidir. Normal olarak bir Lewis yapısındaki bütün elektronlar eşleşmiştir ve her atomun değerlik kabuğundaki elektron sayısı sekizdir (**oktet** kuralı). Lewis kuramına göre kimyasal bağlar, atomlar arasında elektron aktarımına dayanan **iyonik bağlar** ve elektron paylaşımına dayanan **kovalent bağlar** olmak üzere ikiye ayrılır. Ancak, çoğu bağların hem kısmen iyonik hem de kısmen kovalent karakteri vardır.

10-2 Kovalent Bağlanma: Giriş— Molekül içindeki atomlar, değerlik tabakasında sekiz elektronla (bir oktet) çevrilmişse **oktet kuralına** uyduğu kabul edilir. Kovalent bağlarda, atomlar arasında paylaşılarak bağ oluşturan elektron çiftlerine **bağlayıcı elektron çiftleri,** buna karşılık kimyasal bir bağda paylaşılmayan elektron çiftlerine ise **bağ yapmayan elektron çiftleri** denir. Atomlar arasında paylaşılan bir çift elektron **tekli kovalent bağ** oluşturur. İki atom arasındaki bir kovalent bağın iki elektronu tek bir atomdan gelmişse, bu bağa **koordine kovalent bağ** denir. Moleküllerin oktet kuralına uygun Lewis yapılarında bir elektron çiftinden daha fazla elektron çifti aynı iki atom tarafından ortaklanırsa **katlı kovalent bağlar** oluşur. Paylaşılan iki elektron çifti **ikili** ve üç elektron çifti **üçlü kovalent bağları** verir.

10-3 Polar Kovalent Bağlar ve Elektrostatik Potansiyel Haritaları—Bir kovalent bağda, atomlar arasındaki elektronlar eşit şekilde paylaşılmıyorsa, bu bağa **polar kovalent bağ** denir. Bir bağın polar olup olmadığı, bağı oluşturan atomların **elektronegatiflikleri** (EN) karşılaştırılarak tahmin edilebilir (Şekil 10-6). Kimyasal bağdaki elektronların **elektronegatiflik farkı** (ΔEN) ne kadar büyükse bağ o kadar polar ve fazla iyonik karakterdedir. Bir molekülün yük dağılımı, bilgisayarlarla çizilen **elektrostatik potansiyel haritasından** görülebilir (Şekil 10-4 ve 10-5). Moleküldeki yük değişimi, en negatif bölge kırmızı ve en pozitif kısımlar mavi olacak şekilde renk spektrumu ile gösterilir. Elektrostatik potansiyel haritaları, polar ve polar olmayan moleküllerin her ikisi için de elektron yük dağılımını göstermek için yararlı bir yöntemdir.

10-4 Lewis Yapılarının Yazılması— Bir kovalent molekülün Lewis yapısının yazılabilmesi için **merkez atomunun** ve buna bağlı atomların belirtildiği **iskelet yapısının** bilinmesine gerek vardır. Sadece tek bir atoma bağlı atomlara **uç atomlar** denir (yapı 10.13). Genel olarak, elektronegatifliği en düşük olan atom, merkez atomudur. **Formal yük** kavramı (formül 10.16), iskelet yapısının seçiminde ve Lewis yapısının uygunluğunun belirlenmesinde kullanılır.

10-5 Rezonans— Moleküller, iyonlar vb. türler için birden fazla uygun Lewis yapısı yazılabilir ve buna **rezonans** denir. Bu durumda gerçek yapı, katkıda bulunan iki veya daha fazla yapının bir rezonans melezidir.

10-6 Oktet Kuralından Sapmalar—Aşağıdaki durumlarda şu oktet kuralından sapmalar olur. (1) NO gibi tek sayıda ve eşleşmemiş elektrona sahip olan paramagnetik türler. Bu türlerin pek çoğu, OH gibi molekül parçaları olup **serbest radikaller** olarak bilinirler. (2) Bütün atomlarının oktetini tamamlamaya yetecek kadar elektronu olmayan, yani oktet boşluğu olan moleküller. (3) Üçüncü periyot ve ötesi ametallerin bazı bileşiklerinde merkez atomunun **değerlik kabuğunda genişleme** olan moleküller. Bu durumda, Lewis yapısını yazabilmek için merkez atomunun değerlik kabuğunda 10 ya da 12 elektron alacak kadar genişlemelidir.

10-7 Molekül Biçimleri—**Değerlik kabuğu elektron çifti itmesi (VSEPR)** kuramı, **molekül geometrisinin** belirlenmesinde etkili bir yöntemdir. Bir molekülün (ya da çok atomlu iyonun) geometrisi, değerlik elektron çiftlerinin geometrik dağılımına ve bu çiftlerin bağlayıcı ya da ortaklanmamış çift olmasına bağlıdır (Şekil 10-11, Çizelge 10.1). Elektron grupları arasındaki açılar bir moleküldeki **bağ açılarını** tahmin etmede kullanılan bir araçtır. Moleküllerin geometrilerini tahmin etmek için kullanılabilecek bir diğer önemli bilgi, molekülün net **dipol momenti** olup olmadığıdır (Şekil 10-15). Sonuçta net dipol momenti olan moleküller **polar,** olmayanlar ise apolardır.

10-8 Bağ Derecesi ve Bağ Uzunluğu—Tekli, ikili ve üçlü kovalent bağların **bağ dereceleri** sırası ile 1, 2 ve 3 olarak verilir. Kovalent bir bağla bağlanan iki atomun atom merkezleri arasındaki uzaklığa **bağ uzunluğu** denir. Bağ derecesi ne kadar büyükse, bağ uzunluğu o kadar kısa olur (Çizelge 10.2).

10-9 Bağ Enerjileri—**Bağ ayrışma enerjisi,** D, gaz haldeki bir molekülün bir mol kovalent bağının kırılması için gerekli enerji miktarına denir. **Ortalama bağ enerjileri** (Çizelge 10.3), gaz halindeki tepkimelerde entalpi değişimlerinin hesaplanmasında kullanılır.

Pekiştirici Örnek

Nitril florür, roketlerde itiÖ olarak kullanılan etkin bir gazdır. Bileşimi kütlece %21,55 N, %49,23 O ve %29,23 F'dür. Gazın 20 °C ve 1,00 atm'deki yoğunluğu 2,7 g/L dir. Nitril florür molekülünün molekül formülünü, Lewis yapısını, molekül biçimini ve polarlığını belirleyiniz.

Analiz

Öncelikle, nitril florürün element analizinden kaba formülünü ve kaba formülün mol kütlesini belirleyiniz. Sonra, buhar yoğunluğu verilerinden gerçek mol kütlesini tayin ediniz. Şimdi, molekül formülünü belirleyebilirsiniz. Bu molekül formülüne göre uygun bir Lewis yapısı çiziniz ve molekül geometrisini belirlemek için Lewis yapısına VSEPR kuramını uygulayınız. Son olarak, molekül geometrisi ve elektronegatiflik verilerini değerlendirerek molekülün polarlığını belirleyiniz.

Çözüm

Kaba formülü belirlemek için Sayfa 80 deki Örnek 3-5'de gösterilen yöntemi kullanınız. 100,0 g bileşikte,

$$\text{mol N} = 21{,}55\ \text{g N} \times \frac{1\ \text{mol N}}{14{,}007\ \text{g N}} = 1{,}539\ \text{mol N}$$

$$\text{mol O} = 49{,}23\ \text{g O} \times \frac{1\ \text{mol O}}{15{,}999\ \text{g O}} = 3{,}077\ \text{mol O}$$

$$\text{mol F} = 29{,}23\ \text{g F} \times \frac{1\ \text{mol F}}{18{,}998\ \text{g F}} = 1{,}539\ \text{mol F}$$

Bileşiğin kaba formülü

$N_{1,539}\,O_{3,077}\,F_{1,539} = NO_2F$ dir.

Bu kaba formülün mol kütlesi

14 + 32 + 19 = 65 g/mol'dür.

Gazın mol kütlesini belirlemek için sayfa 208 de verilen Örnek 6-7 deki yöntemi kullanınız.

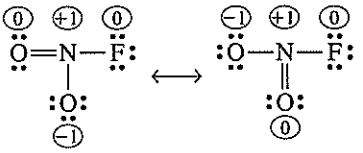
$$\text{mol kütlesi} = \frac{mRT}{PV} = \frac{dRT}{P}$$

$$= \frac{2{,}7\ \text{g/L} \times 0{,}0821\ \text{L atm mol}^{-1}\,\text{K}^{-1} \times 293\ \text{K}}{1{,}00\ \text{atm}}$$

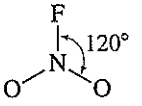
$$= 65\ \text{g/mol}$$

Kaba formülden hesaplanan mol kütlesi ile gerçek mol kütlesi aynı olduğundan, molekül formülü ile kaba formül de aynıdır: NO_2F.

Lewis yapısında en düşük elektronegatifliğe sahip olması nedeniyle, N merkez atomudur. Rezonans melezine katkıda bulunan eşdeğer iki yapı vardır.



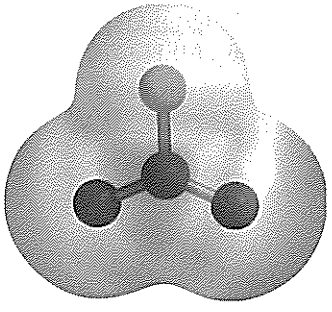
Merkez N atomu etrafında üç elektron grubu bulunduğundan, elektron grubu geometrisi üçgen düzlemdir. Bütün elektron grupları bağ oluşumuna katıldığından ve merkez atomda ortaklanmamış elektron bulunmadığından, molekül geometrisi de üçgen düzlemdir ve beklenen bağ açıları 120°dir. (Deneysel olarak belirlenen F—N—O bağ açısı 118°dir.)



Molekül simetrik geometrisinden dolayı apolar olacaktı. Ancak, F'un elektronegatifliği O'den büyüktür ve molekül içindeki elektron yük dağılımının simetrik olmaması beklenir. N—F bağ dipolü N—O bağ dipollerinden büyük olmalıdır. Bunun sonucunda molekülün küçük bir net dipol momenti olmalıdır. Sonuç olarak NO_2F polar bir moleküldür.

Değerlendirme

Rezonans melezi Lewis yapısına katkıda bulunan yapılarda, F atomunun formal yükü sıfır ve iki O atomunun ortalama formal yükleri −1/2 dir. Bundan dolayı, molekülün oksijen atomu tarafı elektron yük yoğunluğu bakımından çok negatif, flor tarafının ise daha nötür olması beklenir. Bu yorumu, NO_2F nin elektrostatik potansiyel haritası da doğrulamaktadır. Ayrıca, azotun üç elementten en az elektronegatif



element olduğu gerçeği ile uyumlu olacak şekilde, azot çekirdeğinin etrafının pozitif yük yoğunluğuna sahip olduğuna dikkat edilmelidir.

ALIŞTIRMA A: Fosfor pentaklorür, $PCl_5(g)$, bileşiği $PCl_3(g)$ ile $Cl_2(g)$ nin tepkimesinden elde edilir. Ek D'deki verileri kullanarak, P–Cl bağının ortalama bağ enerjisini hesaplayınız. PCl_5 ve PCl_3 deki P–Cl bağlarının bağ enerjilerinin aynı olduğunu düşününüz. PCl_5 ve PCl_3 bileşiklerinin geometrik yapılarını dikkate alarak, niçin bu iki moleküldeki P–Cl bağlarının bağ enerjilerinin aynı olamayabileceğini açıklayınız.

ALIŞTIRMA B: Formamit ve formaldoksimin formülleri sırası ile H_2NCHO ve H_2CNOH dir. Bu moleküllerden biri diğerine göre çok kararlıdır. (a) Bu moleküllerin yapılarını, koyu kama ve çizgili kama simgelerini kullanarak ve bağ açılarını belirterek çiziniz, bağ enerjilerinden yararlanarak hangi molekülün daha kararlı olduğunu belirleyiniz. (b) Deneyler, formamitin H–N–H ve N–C–O açılarının 119° ve 124° olduğunu göstermektedir. Formamitin bu bilgilerle uyumlu Lewis formülünü çiziniz.

MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, konu ile ilgili başka sorulara ulaşabilirsiniz.

Alıştırmalar

Lewis Kuramı

1. Aşağıdaki atomların Lewis simgelerini yazınız: (a) Kr; (b) Ge; (c) N; (d) Ga; (e) As; (f) Rb.
2. Aşağıdaki iyonların Lewis simgelerini yazınız: (a) H^-; (b) Sn^{2+}; (c) K^+; (d) Br^-; (e) Se^{2-}; (f) Sc^{3+}.
3. Yalnızca tekli kovalent bağ içeren şu moleküllerin uygun Lewis yapılarını yazınız: (a) FCl; (b) I_2; (c) SF_2; (d) NF_3; (e) H_2Te.
4. Şu bileşikler katlı (ikili ya da üçlü) kovalent bağ içermektedir. Uygun Lewis yapılarını yazınız: (a) OCS; (b) CH_3CHO; (c) F_2CO; (d) Cl_2SO; (e) C_2H_2.
5. Şu element çiftleri arasındaki bağlanmayı Lewis yapıları ile gösteriniz: (a) Cs ve Br; (b) H ve Sb; (c) B ve Cl; (d) Cs ve Cl; (e) Li ve O; (f) Cl ve I. Lewis yapılarınız bağın gerçekte iyonik ya da kovalent olup olmadığını göstermelidir.
6. Aşağıdaki Lewis yapılarından hangileri oktet kuralına *uymaz*: NF_3, $AlCl_3$, SiF_6^{2-}, SO_3, PH_4^+, PO_4^{3-}, ClO_2? Açıklayınız.
7. "Lewis yapısında, tüm atomlar değerlik kabuğunda sekiz elektron bulundurur" ifadesinin geçerli olmadığına dair birkaç örnek veriniz.
8. Şu moleküllerin neden kararlı olmadıklarını açıklayınız: (a) H_3 (b) HHe; (c) He_2; (d) H_3O.
9. Aşağıdaki Lewis yapılarında neyin yanlış olduğunu bulunuz.

   (a) H—H—N—O—H

   (b) Ca—O:
10. Aşağıdaki Lewis yapılarında neyin yanlış olduğunu bulunuz.

    (a) :O—Cl—O:

    (b) $[\cdot C{=}N:]^-$
11. Şu Lewis yapılarından sadece birisi doğrudur. Doğru olanı bulunuz ve diğerlerinde yanlışları gösteriniz.

    (a) siyanat iyonu $[:O—C{=}N:]^-$

    (b) karbür iyonu $[C{\equiv}C:]^{2-}$

    (c) hipoklorit iyonu $[:Cl—O:]^-$

    (d) azot (II) oksit $:N{=}O:$
12. Aşağıdaki Lewis yapılarında neyin yanlış olduğunu bulunuz.

    (a) Mg :O:

    (b) $[:O—N{=}O:]^+$

    (c) $[:Cl:]^+[:O:]^{2-}[:Cl:]^+$

    (d) $[:S—C{=}N:]^-$

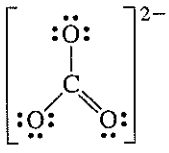
İyonik Bağ

13. Aşağıdaki iyonik bileşiklerin Lewis yapılarını yazınız: (a) kalsiyum klorür; (b) baryum sülfür; (c) lityum oksit; (d) sodyum florür.
14. Hidrojen ve azotun her ikiside uygun koşullarda tek atomlu anyonlar oluşturabilirler. Bu iyonların Lewis simgeler nelerdir? Şu bileşiklerin Lewis yapıları nelerdir: (a) lityum hidrür; (b) kalsiyum hidrür; (c) magnezyum nitrür.
15. Aşağıdaki iyonik bileşiklerin Lewis yapılarını yazınız ve doğru formüllerini çiziniz. (a) Lityum sülfür; (b) sodyum florür; (c) kalsiyum iyodür; (d) skandiyum klorür.
16. Aşağıdaki iyonik bileşikler tek ve çok atomlu iyonlardan oluşmuşlardır. Bu bileşiklerin Lewis yapılarını gösteriniz. (a) $Al(OH)_3$; (b) $Ca(CN)_2$; (c) NH_4F; (d) $KClO_3$; (e) $Ba_3(PO_4)_2$.

Formal Yük

17. Aşağıdaki yapılarda atomların formal yüklerini hesaplayınız.

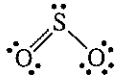
(a) $[H{-}C{\equiv}C{:}]^-$

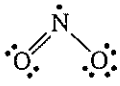
(b) 

(c) $[CH_3{-}CH{-}CH_3]^+$

18. Aşağıdaki yapılarda her bir atomun formal yükünü bulunuz.

(a) 

(b) 

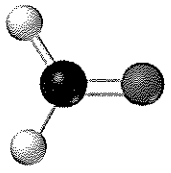
(c) 

19. Formal yük ve yükseltgenme basamağı, bileşikte bağ yapmış atomların değerlik elektronları ile ilgili olsa da farklı kavramlardır. Bu ikisi arasındaki farkı birkaç yoldan açıklayınız.
20. Lewis yapıları kavramında formal yüklerin sıfır ya da en az olması kuralına çoğunlukla uyulmakla birlikte, bunun geçersiz olduğu birkaç önemli örnek veriniz.
21. Aşağıdaki yapılarda, gösterilen atomlar üzerindeki formal yük nedir?
    (a) O_3 de merkez O atomu
    (b) AlH_4^- de Al atomu
    (c) ClO_3^- da Cl atomu
    (d) SiF_6^{-2} de Si atomu
    (e) ClF_3 de Cl atomu
22. Aşağıdaki türlerde atomlara ait formal yükleri bulunuz ve en olası iskelet yapılarını seçiniz.
    (a) H_2NOH ve H_2ONH
    (b) SCS ve CSS
    (c) NFO ve FNO
    (d) $SOCl_2$, $OSCl_2$ ve OCl_2S
    (e) F_3SN ve F_3NS
23. Formal yük kavramı, NO_2^+ için verilen (10.14) ve (10.15) Lewis yapılarından hangisinin uygun olduğunu belirlememize yardımcı olmuştu. CO_2H^+ için de uygun bir Lewis yapısının belirlenmesine yardımcı olabilir mi? Açıklayınız.
24. Bir yapıda formal yüklerin en aza indirilmesi fikrine, merkez atomu çok olan uzun yapılara kıyasla, toplu ve simetrik yapılarda daha çok uyulduğunu gösteriniz. ClO_4^- iyonunu örnek olarak kullanınız.

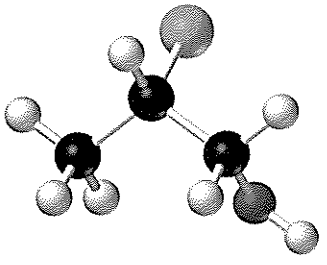
Lewis Yapıları

25. Şu moleküller için kabul edilebilir Lewis yapılarını yazınız: (a) H_2NNH_2; (b) HOClO; (c) $(HO)_2SO$; (d) HOOH; (e) SO_4^{2-}.
26. Formülleri aynı, yapıları farklı olan moleküllere izomer denir. (İzomerlerdeki atomlar aynıdır, fakat bunların birbirlerine bağlanış şekilleri farklıdır.) S_2F_2 molekülünün *iki* izomeri için kabul edilebilir Lewis yapılarını yazınız.
    [*İpucu*: Merkez atomu ya da atomları nelerdir?]
27. Aşağıdaki çok atomlu iyonlar, O atomları ve merkez ametal atomu arasında kovalent bağlar içermektedir. Bunların herbiri için uygun Lewis yapıları öneriniz: (a) SO_3^{2-}; (b) NO_2^-; (c) CO_3^{2-}; (d) HO_2^-.
28. Şu iyonik bileşikleri Lewis yapılarıyla gösteriniz: (a) baryum hidroksit; (b) sodyum nitrit; (c) magnezyum iyodat; (d) aluminyum sülfat.
29. Gözyaşartıcı gaz ve böcek öldürücü olarak kullanılan krotonaldehit, $CH_3CHCHCHO$, için uygun bir Lewis yapısı yazınız.
30. Karbon suboksit olarak da bilinen C_3O_2 için uygun bir Lewis yapısı yazınız.

31. Aşağıda molekül modelleriyle gösterilen moleküllerin Lewis yapılarını yazınız.

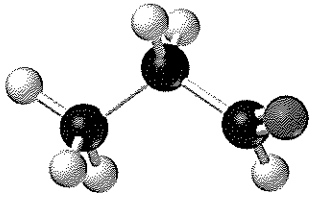


(a)

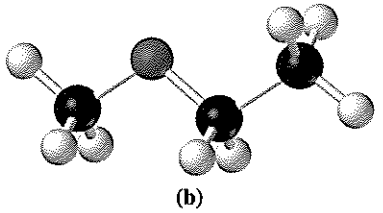


(b)

32. Aşağıda molekül modelleriyle gösterilen moleküllerin Lewis yapılarını yazınız.

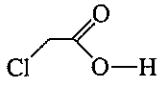


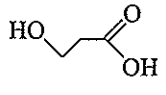
(a)



(b)

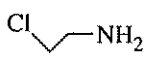
33. Aşağıda çizgisel formüllerle gösterilen moleküllerin Lewis yapılarını yazınız. (*İpucu*: Sayfa 70 ve Şekil 3-2'ye bakınız)

(a) 

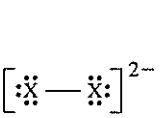
(b) 

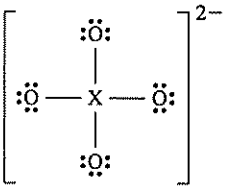
34. Aşağıdaki çizgisel formüllerle gösterilen moleküllerin Lewis yapılarını yazınız (*İpucu*: Sayfa 70 ve Şekil 3-2 ye bakınız).

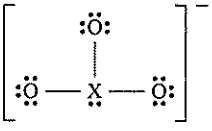
(a) 

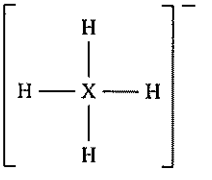
(b) 

35. Aşağıda Lewis yapıları verilen türlerin herbirinde, X elementinin periyodik çizelgede hangi baş grup elementi olduğunu belirleyiniz ve her bir yapıya gerçek bir örnek veriniz.

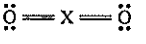
(a) 

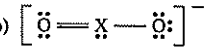
(b) 

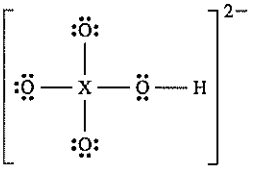
(c) 

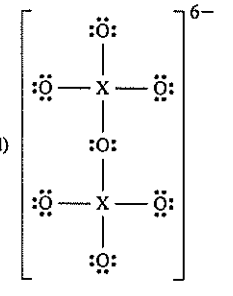
(d) 

36. Aşağıda Lewis yapıları verilen türlerin herbirinde, X elementinin periyodik çizelgede hangi baş grup elementi olduğunu belirleyiniz ve her bir yapıya gerçek bir örnek veriniz.

(a) 

(b) 

(c) 

(d) 

Polar Kovalent Bağlar ve Elektrostatik Potansiyel Haritaları

37. Bu kitaptaki şekil ve çizelgeleri *kullanmadan*, elektronegatiflik konusundaki bilgilerinizle, şu bağları *artan* iyonik karaktere göre sıralayınız: C–H; F–H; Na–Cl; Br–H; K–F.
38. Aşağıdaki moleküllerden hangilerinin net dipol momente (μ) sahip olmasını beklersiniz? **(a)** F_2; **(b)** NO_2; **(c)** BF_3; **(d)** HBr; **(e)** H_2CCl_2; **(f)** SiF_4; **(g)** OCS. Açıklayınız.
39. Aşağıdaki bağların herbirinde yüzde iyonik karakter nedir? **(a)** S–H; **(b)** O–Cl; **(c)** Al–O; **(d)** As–O
40. Şekil 10-6'daki verileri, atom numarasına karşı grafiğe geçiriniz. Eleketronegatiflik periyodik yasa ile uyumlu mudur? Uyumlu olması gerektiğini düşünüyor musunuz?

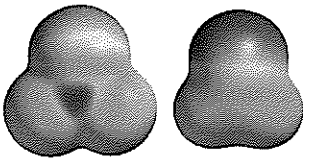
41. Aşağıdaki iki atomlu moleküllerin herbirinde bağların polarlığını okla (⟶) gösteriniz. Herbir moleküldeki atomların kısmi yüklerini (δ), aşağıdaki verileri kullanarak ve sayfa 431' de açıklandığı şekilde hesaplayınız. Kısmi yükleri, birim yükün ($e = 1{,}602\times10^{-19}$ C) ondalık kesri olarak, örneğin $\delta = +0{,}17e$ veya $\delta = -0{,}17e$ şeklinde veriniz.

	Bağ Uzunluğu, pm	Dipol Momenti, D
ClF	162,8	0,8881
RbF	227,0	8,547
SnO	183,3	4,3210
BaO	194,0	7,954

42. Aşağıdaki iki atomlu moleküllerin herbirinde bağların polarlığını okla (⟶) ile gösteriniz. Aşağıdaki verileri kullanarak herbir atomun kısmi yüklerini (δ) hesaplayınız. Kısmi yükleri, alıştırma 41'deki gibi ifade ediniz.

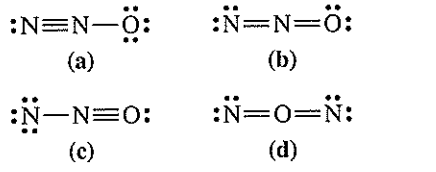
	Bağ Uzunluğu, pm	Dipol Momenti, D
OH	98,0	1,66
CH	131,1	1,46
CN	117,5	1,45
CS	194,4	1,96

43. Hangi elektrostatik potansiyel haritası $F_2C=O$ molekülüne ve hangisi $H_2C=O$ molekülüne karşılık gelir?



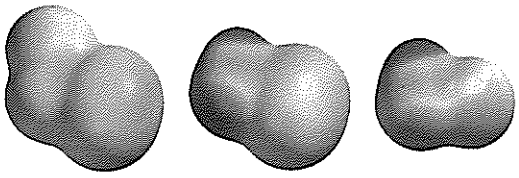
Rezonans

47. Uygun Lewis yapılarını kullanarak nitrit iyonunda rezonans olayını gösteriniz.
48. Şu yapılardan hangisi Lewis yapılarında bir rezonans melezini gerektirir? Açıklayınız. **(a)** CO_2; **(b)** OCl^-; **(c)** CO_3^{2-}; **(d)** OH^-.
49. Diazot oksit (nitröz oksit ya da "güldürücü gaz") bazen anestezik olarak kullanılır. N_2O molekülünde; N—N bağ uzunluğu = 133 pm, N—O bağ uzunluğu = 119 pm dir. Bu verileri ve kitaptaki diğer bilgileri kullanarak, aşağıdaki Lewis yapılarının uygunluğunu tartışınız. Bu yapıların hepsi geçerli midir? Rezonans melezine en çok hangi yapının katkıda bulunduğunu düşünürsünüz?

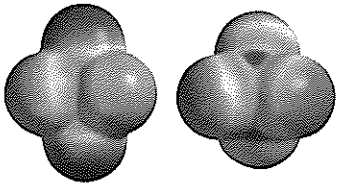


50. Nitrik asidin $HONO_2$, Lewis yapısı bir rezonans melezidir. Aşağıdaki yapının rezonans melezine katkısı ne kadar önemlidir? Açıklayınız.

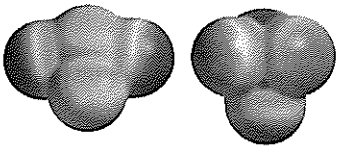
44. HOCl, FOCl ve HOF bileşikleri ile aşağıdaki elektrostatik potansiyel haritalarını eşleştiriniz.

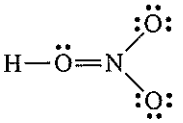


45. Aşağıda iki elektrostatik potansiyel haritası verilmiştir. Bunlardan biri sadece S ve F içeren bir bileşiğe, diğeri sadece Si ve F içeren bir bileşiğe aittir. Bu bileşikleri ve molekül formüllerini yazınız.



46. Aşağıda iki elektrostatik potansiyel haritası verilmiştir. Bunlardan biri sadece Cl ve F içeren bir bileşiğe, diğeri sadece P ve F içeren bir bileşiğe aittir. Bu bileşikleri ve molekül formüllerini yazınız.





51. Aşağıda verilen türlerin Lewis yapılarını, formal yüklerini ve varsa rezonans yapılarını gösteriniz.
(a) HCO_2^-;
(b) HCO_3^-;
(c) FSO_3^-;
(d) $N_2O_3^{2-}$ (Azot atomları merkez atomdur ve birbirine bağlıdır. Bir oksijen atomu azotlardan birisine, iki oksijen atomu ise diğerine bağlıdır.)

52. Aşağıda verilen türlerin Lewis yapılarını, formal yükleri ve varsa rezonans yapılarını gösteriniz.
(a) $HOSO_3^-$
(b) H_2NCN
(c) FCO_2^-
(d) S_2N_2 (S ve N atomlarının ardışık bağlandığı halkalı bir yapı)

Tek Elektronlu Türler

53. Aşağıdaki eşleşmemiş elektronlu (tek elektronlu) moleküllerin uygun Lewis yapılarını yazınız: **(a)** CH_3; **(b)** ClO_2; **(c)** NO_3.
54. Aşağıdaki serbest radikaller için uygun Lewis yapılarını yazınız. (a) $\bullet C_2H_5$; (b) $HO_2\bullet$; (c) $ClO\bullet$
55. Aşağıdakilerden hangilerinin diyamanyetik, hangilerinin paramanyetik olmasını beklersiniz? **(a)** OH^-; **(b)** OH; **(c)** NO_3; **(d)** SO_3; **(e)** SO_3^{2-}; **(f)** HO_2?
56. NO_2 için uygun bir Lewis yapısı yazınız ve diyamanyetik ya da paramanyetik olduğunu belirtiniz. İki NO_2 molekülü birleşir ve N_2O_4 oluşturur (*dimerleşir*). N_2O_4 için uygun bir Lewis yapısı yazınız. N_2O_4 molekülünün diyamanyetik mi yoksa paramanyetik mi olduğunu düşünürsünüz?

Genişlemiş Değerlik Kabukları

57. Aşağıdaki türlerin hangilerinde Lewis yapısını yazmak için genişlemiş değerlik kabuğunu kullanmaya *gereksinim* vardır: PO_4^{3-}, PI_3, ICl_3, $OSCl_2$, SF_4, ClO_4^-? Yanıtınızı açıklayınız.
58. H_2CSF_4 molekülünde karbon–kükürt bağının tekli, ikili ya da üçlü olup olmadığını belirleyiniz.

Molekül Biçimleri

59. Aşağıdaki molekül ve iyonların geometrik şekillerini VSEPR kuramını kullanarak öngörünüz: **(a)** N_2; **(b)** HCN; **(c)** NH_4^+; **(d)** NO_3^-; **(e)** NSF.
60. Aşağıdaki moleküllerin ve iyonların geometrik biçimlerini VSEPR kuramını kullanarak belirleyiniz: **(a)** PCl_3; **(b)** SO_4^{2-}; **(c)** $SOCl_2$; **(d)** SO_3; **(e)** BrF_4^+.
61. Aşağıdaki taneÖklerin herbiri doğrusal, açısal, düzlemsel, dörtyüzlü ya da sekizyüzlü yapılardan birine sahiptir. Her birinin biçimini gösteriniz. **(a)** H_2S; **(b)** N_2O_4; **(c)** HCN; **(d)** $SbCl_6^-$; **(e)** BF_4^-.
62. Verilen molekül ve iyonların geometrik yapılarını öngörünüz: **(a)** CO; **(b)** $SiCl_4$; **(c)** PH_3; **(d)** ICl_3; **(e)** $SbCl_5$; **(f)** SO_2; **(g)** AlF_6^{3-}.
63. Şu iyonlardan birisi *üçgen düzlem* biçimindedir: SO_3^{2-}; PO_4^{3-}; PF_6^-; CO_3^{2-}. Bu hangi iyondur? Açıklayınız.
64. Aşağıdaki yapılardan iki tanesi aynı molekül geometrisine sahiptir. Bunlar hangileridir? Bunların şekilleri nasıldır? Diğer ikisinin şekli nasıldır? NI_3, HCN, SO_3^{2-}, NO_3^-
65. Aşağıdaki moleküllerden herbiri bir ya da daha fazla katlı kovalent bağ içermektedir. Uygun Lewis yapılarını yazarak gösteriniz ve geometrilerini öngörünüz. **(a)** CO_2; **(b)** Cl_2CO; **(c)** $ClNO_2$
66. Şu moleküllerin olası geometrik yapılarını çiziniz: **(a)** N_2O_4 (O_2NNO_2); **(b)** C_2N_2 (NCCN); **(c)** C_2H_6 (H_3CCH_3); **(d)** C_2H_6O (H_3COCH_3).
67. Şu anyonların molekül geometrilerini VSEPR kuramını kullanarak belirtiniz: **(a)** ClO_4^-; **(b)** $S_2O_3^{2-}$ (yani, SSO_3^{2-}); **(c)** PF_6^-; **(d)** I_3^-.
68. Şu taneÖklerin biçimlerini VSEPR kuramına göre belirleyiniz: **(a)** OSF_2 molekülü; **(b)** O_2SF_2 molekülü; **(c)** SF_5^- iyonu; **(d)** ClO_4^- iyonu; **(e)** ClO_3^- iyonu.
69. BF_3 molekülü (Çizelge 10.1) düzlemseldir. BF_3 molekülünün B atomuna koordine kovalent bağla bir F atomu bağlanırsa BF_4^- iyonu oluşur. Bu iyonun geometrisi nasıldır?
70. VSEPR kuramına göre en uygun molekül geometrisini belirlemede, en az formal yüklü Lewis yapısının temel alınmasına, neden gerek olmadığını açıklayınız. Örneğin, SO_2 için farklı formal yüklü Lewis yapılarını yazınız ve bu yapılara dayalı olarak molekül geometrisini belirleyiniz.
71. Aşağıdaki üç atomlu türlerin yapılarındaki benzerlik ve farklılıkları yorumlayınız. CO_2, NO_2^-, O_3 ve ClO_2^-.
72. Aşağıdaki dört atomlu türlerin yapılarındaki benzerlik ve farklılıkları yorumlayınız. NO_3^-, CO_3^{2-}, SO_3^{2-} ve ClO_3^-.
73. Verilen iyon ve moleküllerin uygun Lewis yapılarını çiziniz. **(a)** ClF_2^-; **(b)** ClF_3; **(c)** ClF_4^-; **(b)** ClF_5. Bu türlerin elektron grubu geometrilerini ve molekül yapılarını gösteriniz.
74. Verilen iyon ve moleküllerin uygun Lewis yapılarını çiziniz. (a) SiF_6^{2-}; (b) PF_5; (c) SF_4; (d) XeF_4. Bu türlerin elektron grubu geometrilerini ve molekül yapılarını gösteriniz.

Birden Fazla Merkez Atomlu Moleküllerin Biçimleri

75. Propin molekülünü, $CH_3C{\equiv}CH$, çiziniz. Bu moleküldeki bağ açılarını belirtiniz. Aynı düzlem içinde bulunabilen atomların sayısı en fazla kaçtır?
76. Propen molekülünü, $CH_3CH{=}CH_2$, çiziniz. Bu moleküldeki bağ açılarını belirtiniz. Aynı düzlem üzerinde bulunabilen atomların sayısı en fazla kaçtır?
77. Laktik asidin formülü $CH_3CH(OH)COOH$'dir. Laktik asit molekülünü çizerek, farklı bağ açılarını belirleyiniz.
78. Levulinik asidin formülü $CH_3(CO)CH_2CH_2COOH$ dir. Levulinik asit molekülünü çizerek, farklı bağ açılarını belirtiniz.
79. Koyu ve kesikli kama simgelerini kullanarak, H_2NCH_2CHO molekülünü çiziniz ve farklı bağ açılarını belirtiniz.
80. Klormetanolün izomerlerinden birinin formülü $ClCH_2OH$ dir. Koyu ve kesikli kama simgelerini kullanarak klormetanol molekülünü gösteriniz ve bağ açılarını belirtiniz.

Polar Moleküller

81. Verilen moleküllerin geometrisini belirleyiniz ve hangilerinin net dipol momente sahip olduğunu belirtiniz. **(a)** SO_2; **(b)** NH_3; **(c)** H_2S; **(d)** C_2H_4; **(e)** SF_6; **(f)** CH_2Cl_2.
82. Aşağıdaki moleküllerden hangilerinin polar olmasını beklersiniz? Nedenini açıklayınız: **(a)** HCN; **(b)** SO_3; **(c)** CS_2; **(d)** OCS; **(e)** $SOCl_2$; **(f)** SiF_4; **(g)** POF_3?
83. H_2O_2 molekülü 2,2 D lik net dipol momente sahiptir. Molekül doğrusal olabilir mi? Değilse, bu dipol momente uygun bir şekil öneriniz.
84. PekiştiriÖ Örneği göz önüne alınız. Nitril florüre benzeyen bir bileşik nitrozil florürdür, FNO. Bu molekül için **(a)** uygun bir Lewis yapısı yazınız ve **(b)** geometrik şekli gösteriniz **(c)** FNO için ölçülen net dipol momentin FNO_2 için ölçülenden neden daha büyük olduğunu açıklayınız.

Bağ Uzunlukları

85. Bu kitaptaki çizelgeleri *kullanmadan*, aşağıdaki bağlardan hangisinin daha uzun olmasını beklediğinizi, nedeninizle birlikte açıklayınız: **(a)** O_2; **(b)** N_2; **(c)** Br_2; **(d)** BrCl.
86. Aşağıda verilen türler için bağ uzunluklarını hesaplayınız. Hesapladığınız değerler acaba çok mu büyük ya da çok mu küçük, belirtiniz. **(a)** I–Cl; **(b)** C–F
87. Atomların tekli kovalent yarıçapları ve bağ uzunlukları arasındaki ilişki Sayfa 443'de verilmiştir. Bu ilişkiyi ve Çizelge 10.2 deki uygun verileri kullanarak, tekli bağ uzunluklarını hesaplayınız: **(a)** I—Cl; **(b)** O—Cl; **(c)** C—F; **(d)** C—Br.
88. Verilen bileşiklerden hangisinde oksijen—oksijen bağının en kısa olmasını beklersiniz: **(a)** H_2O_2, **(b)** O_2, **(c)** O_3? Açıklayınız.
89. PekiştiriÖ örneği ve bu bölümdeki bilgileri kullanarak, FNO_2 molekülünde N—F bağının uzunluğunu bulunuz.
90. Hidroksilamin, H_2NOH, molekülünün Lewis yapısı yazınız ve Çizelge 10.2'yi kullanarak tüm bağ uzunluklarını bulunuz.

Bağ Enerjileri

91. Atmosferin üst tabakalarında, ozon oluşması sırasında $O_2 \longrightarrow 2O$ şeklinde bir tepkime oluşur. Çizelge 10.3 ü *kullanmadan*, bu tepkimenin endotermik mi yoksa ekzotermik mi olduğunu açıklayınız.
92. Çizelge 10.3 ü kullanarak, *ancak ayrıntılı hesaplamalar yapmadan*, aşağıdaki tepkimelerin endotermik mi yoksa ekzotermik mi olduğunu belirtiniz.
(a) $CH_4(g) + I(g) \longrightarrow \cdot CH_3(g) + HI(g)$
(b) $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2\,HI(g)$
93. Çizelge 10.3 ü kullanarak aşağıdaki tepkimenin entalpi değişimini (ΔH) hesaplayınız.

$$C_2H_6(g) + Cl_2(g) \longrightarrow C_2H_5Cl(g) + HCl(g) \quad \Delta H = ?$$

94. Fotokimyasal sis oluşumundaki tepkimelerden birisi şudur: $O_3 + NO \longrightarrow NO_2 + O_2$. Çizelge 10.3 deki bilgilerle birlikte, Lewis yapılarını da kullanarak bu tepkime için entalpi değişimini tahmin ediniz.
95. 25°C de ve 1 atm basınçta **(a)** OH(g); **(b)** $N_2H_4(g)$ bileşiklerinin standart oluşum entalpilerini bulunuz. Gerekirse Çizelge 10.3 deki bilgileri kullanın ve Lewis yapılarını yazınız.
96. Örnek 10-15 deki tepkime için verilen ΔH ve Ek-D deki diğer bilgilerden yararlanarak $\Delta H°_{ol}[CH_3Cl(g)]$ değerini hesaplayınız.
97. Çizelge 10.3 deki bağ enerjilerini kullanarak aşağıda verilen tepkimenin entalpi değişimini (ΔH) hesaplayınız.

$$C_2H_2(g) + H_2(g) \longrightarrow C_2H_4(g) \qquad \Delta H = ?$$

98. $CH_4(g)$ bileşiğinin elementlerinden oluşumunu göstermek için (1) ve (2) eşitlikleri birleştirilebilir.

$$\begin{array}{lll} (1) & C(s) \longrightarrow C(g) & \Delta H = 717\,kJ \\ (2) & C(g) + 2\,H_2(g) \longrightarrow CH_4(g) & \Delta H = ? \\ \hline Net: & C(s) + 2\,H_2(g) \longrightarrow CH_4(g) & \Delta H°_{ol} = -75\ kJ/mol \end{array}$$

Yukarıdaki bilgiyi ve H_2 için bağ enerjisinin 436 kJ/mol olduğunu gözönüne alarak, C—H bağ enerjisini hesaplayınız. Elde ettiğiniz sonucu Çizelge 10.3'deki değer ile karşılaştırınız.

99. Aşağıdaki tepkime ozonun bozulmasını sağlayan tepkimeler dizisinden biridir:

$$NO_2(g) + O(g) \longrightarrow NO(g) + O_2(g)$$

Ek-D'deki termodinamik verileri kullanarak bu tepkimenin $\Delta H°$ değerini hesaplayınız. Bulduğunuz $\Delta H°$ değerini ve Çizelge 10.3'deki verileri kullanarak, NO_2 bileşiğindeki azot-oksijen bağ enerjisini hesaplayınız. [*İpucu*: Azot dioksit, NO_2, eşdeğer iki Lewis yapısının rezonans melezi olarak gösterilir.]

100. Aşağıdaki tepkime ozonun bozulmasını sağlayan tepkime dizisinde bulunur:

$$O_3(g) + O(g) \longrightarrow 2\,O_2(g) \qquad \Delta H° = -394\,kJ$$

Çizelge 10.3 deki verilen dioksijenin oksijen-oksijen bağ enerjisini kullanarak, ozondaki oksijen-oksijen bağ enerjisini hesaplayınız. Bulduğunuz değeri Çizelge 10.3'te verilen O–O ve O=O bağ enerjileri ile karşılaştırınız. Farklılıkları nasıl açıklayabilirsiniz?

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

101. Bağ enerjileri; NO molekülündeki azot—oksijen bağı için 631 kJ/mol, H_2 molekülündeki H—H için 436 kJ/mol, NH_3 molekülündeki N—H için 389 kJ/mol ve H_2O molekülündeki O—H için 463 kJ/mol olarak verildiğine göre, aşağıdaki tepkimenin ΔH değerini hesaplayınız.

$$2\,NO(g) + 5\,H_2(g) \longrightarrow 2\,NH_3(g) + 2\,H_2O(g)$$

102. Aşağıdaki ifadelerin doğru olup olmadığını tartışınız. Herbirini irdeleyiniz.
(a) Formal yüklü Lewis yapıları yanlıştır.
(b) Üç atomlu moleküller düzlemseldir.
(c) Bağ yapmış atomları arasında elektronegatiflik farkı bulunan moleküller polardır.

103. Bir bileşik kütlece %47,5 S ve %52,5 Cl içermektedir. Bu bileşiğin kaba formülüne dayalı Lewis yapısını yazınız ve bu yapının doğruluğunu tartışınız. S atomunun Cl atomuna oranının *aynı* olduğu, daha mantıklı bir yapı yazmaya çalışınız.

104. 749 mmHg basınç ve 26,1°C sıcaklıkta 193 mL hacım kaplayan, gaz halindeki 0,325 g hidrokarbonun molekül kütlesini bulunuz ve bu bileşik için uygun bir yapı çiziniz.

105. 1,24 g gelen bir hidrokarbon, aşırı $O_2(g)$ içinde yakıldığında 4,04 g CO_2 ve 1,24 g H_2O oluşmaktadır. Bu hidrokarbon için uygun bir yapı formülü yazınız. (*İpucu*: C ve H atomlarının birden fazla düzenlenme biçimi vardır.)

106. C_3H_4 formülüne sahip iki farklı molekülün Lewis yapılarını yazınız. Bu moleküller doğrusal mıdır? Açıklayınız.

107. Sodyum azit, NaN_3, otomobillerin hava yastığı sistemlerinde kullanılan ve azot oluşturan bir maddedir. NaN_3, azit iyonu, N_3^-, içeren iyonik bir maddedir. Bu iyondaki iki azot—azot bağının uzunluğu 116 pm dir. Bu iyonun rezonans melezi Lewis yapısını gösteriniz.

108. $N_2(g)$ ve $O_2(g)$'in Çizelge 10.3 deki bağ ayrışma enerjilerini ve Ek D deki verileri kullanarak, NO(g) molekülünün bağ ayrışma enerjisini hesaplayınız.

109. Hidrojen azit, HN_3, sarsıldığı zaman şiddetle patlayan bir sıvıdır. HN_3 molekülünde N—N bağlarından biri 113 pm, diğeri ise 124 pm'dir. H—N—N bağ açısı 112° dir. Molekülün Lewis yapılarını yazınız ve bir geometri belirlemeye çalışınız.

110. Bir kaç yıl önce N_5^+ iyonu içeren bir tuzun sentezi yayımlandı. Bu iyonun, çizgisel, zikzak, açılı, düzgün dörtyüzlü, thateravalli veya kare düzlem yapılardan hangisi olma olasılığı vardır? Seçiminizi açıklayınız.

111. Karbon süboksit C_3O_2 formülüne sahiptir. C—C bağ uzunluğu 130 pm ve C—O bağ uzunluğu 120 pm'dir. Bu bağ uzunluklarını içeren uygun bir Lewis yapısı öneriniz ve molekülün şeklini tahmin ediniz.

112. PCl_5 bazı polar çözücülerde iyonlaşır. Bu iyonlaşma tepkimelerinde bir PCl_5 molekülünden ayrılan Cl^- iyonu diğer bir moleküle bağlanır ve PCl_4^+ ile PCl_6^- iyonları oluşur. Bu iyonlaşma sırasında geometrik şekillerde meydana gelen değişmeyi basitçe gösteriniz. (Yani, PCl_5, PCl_4^+ ve PCl_6^- türlerinin molekül geometrilerini veriniz).

$$2\,PCl_5 \rightleftharpoons PCl_4^+ + PCl_6^-$$

113. Çizelge 10.3 deki bağ enerjilerini, kitaptaki başka verileri ve aşağıdaki tepkimeyi kullanarak HCN için oluşum entalpisini hesaplayınız.

$$\begin{aligned}
&(1)\ C(s) &&\rightarrow C(g) && \Delta H^\circ = ?\\
&(2)\ C(g) + \tfrac{1}{2}N_2(g) + \tfrac{1}{2}H_2(g) &&\rightarrow HCN(g) && \Delta H^\circ = ?\\
&\textit{Net:}\quad C(g) + \tfrac{1}{2}N_2(g) + \tfrac{1}{2}H_2(g) &&\rightarrow HCN(g) && \Delta H^\circ_{ol} = ?
\end{aligned}$$

114. $H_2O_2(g)$'in oluşma entalpisi –136 kJ/mol dür. O—O tekli bağ enerjisini, bu değeri ve kitaptaki gerekli diğer bilgileri kullanarak bulunuz. Bulduğunuz sonucu Çizelge 10.3 de verilen değer ile karşılaştırınız.

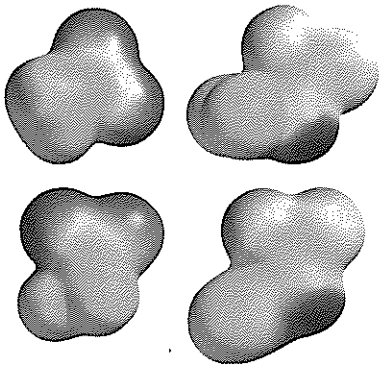
115. F_4SCH_2 molekülünün olası şeklini VSEPR kuramına göre bulunuz ve bulduğunuz yapıdaki eksikliklerin nedenini açıklayınız.

116. Metantiyolün, $CH_3SH(g)$, oluşum entalpisi –22,9 kJ/mol dür. Metantiyol gaz fazındaki metanol ve $H_2S(g)$ in tepkimesiyle sentezlenebilir. Tepkimedeki diğer ürün su buharıdır. Bu bilgileri ve kitaptaki başka verileri de kullanarak metantiyoldeki karbon-kükürt bağ enerjisini hesaplayınız.

117. LiBr'ün dipol momenti gaz fazında ölçülmüş ve 7,268 D bulunmuştur; bağ uzunluğu ise katı fazda ölçülmüş ve 217 pm dir. NaCl için bu değerler 9,001 D ve 236,1 pm' dir. **(a)** Herbir bağ için yüzde iyonik karakteri hesaplayınız. **(b)** Bu değerleri, elektronegatiflikteki farklılığa bağlı olarak, beklenen iyonik karakter ile kıyaslayınız (bakınız Şekil 10-7). **(c)** Bu iki ayrı yolla elde edilen değerler arasındaki farklılığın nedenini açıklayınız.

118. *Yedi* elektron grubu olan bir molekül için, olası bir elektron grup geometrisi, IF_7 molekülünde olduğu gibi beşgen-bipramittir. Bu molekülün VSEPR gösterimini yazınız. Bütün bağ açılarını göstererek molekül geometrisini çiziniz.

119. Bir (HA) asidinin sudaki ayrışma miktarı A^- anyonunun kararlılığına bağlıdır; öyle ki, anyon ne kadar kararlı ise asit o kadar çok ayrışır. Negatif yük bir atom üzerinde yoğunlaşmayıp tüm molekül içine ne kadar çok dağılıyorsa, anyon o kadar çok kararlı olur. Asetik asit, florasetik asit, siyanoasetik asit ve nitroasetik asitleri ele alınız. Rezonans yapılarını da göstererek bu asitlerin anyonlarının Lewis yapılarını çiziniz. Asitleri ayrışma miktarlarının artışına göre sıralayınız. Anyonların elektrostatik potansiyel haritaları aşağıda verilmiştir. Hangi haritanın hangi anyona karşılık geldiğini belirleyiniz ve Lewis yapılarından bulduğunuz sonuçları doğrulayıp doğrulamadığını tartışınız.



120. R. S. Mulliken' e göre bir atomun elektronegatifliği,

$$\chi = k \times (I - E\dot{I})$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikte, I iyonlaşma enerjisi ve $E\dot{I}$ elektron ilgisidir. İyoda kadar olan halojen atomlarının Şekil 10-6 da verilen elektron ilgisi ve iyonlaşma enerjisi değerlerini kullanarak k değerini bulunuz. At'in elektron ilgisini hesaplayınız.

121. Erimiş kükürt, klor gazı ile tepkimeye girdiğinde kötü kokulu-portakal renkli bir sıvı oluşur. Bu sıvının kaba formülü SCl olup, ve olası Lewis yapıları aşağıda verilmiştir. Bu yapıları irdeleyiniz ve en uygun olanı seçiniz.

(a) :Cl—S=S—Cl:

(b) :Cl=S—S=Cl:

(c) :S=Cl—Cl=S:

(d) :Cl—S≡S—Cl:

(e) :Cl—S—S—Cl:

122. Hidrojen azit, HN_3, iki şekilde var olabilir. Birinde üç azot atomu çizgisel olarak birbirine bağlanmış, diğerinde ise üç azot atomu bir üçgen oluşturmuştur. Bu izomerlerin Lewis yapılarını çiziniz ve molekül şekillerini belirleyiniz. Nitrozil azit (N_4O) ve triflormetil azit (CF_3N_3) de ilginç bileşiklerdir. Azot atomlarının çizgisel dizildiğini varsayarak bu moleküllerin şekillerini belirleyiniz.

123. C ve N atomlarının, formülü X_2O_4 olan izoelektronik iki bileşiği vardır. Bu bileşiklerde X–X bağı bulunur. Ayrıca, aynı formüle karşılık gelen bor atomunun flor ile oluşturduğu bir bileşik de vardır. Bu bileşiklerin Lewis yapılarını yazınız ve molekül şekillerini belirleyiniz.

124. Bir keton olan aseton, $(CH_3)_2C{=}O$, kuvvetli bir bazla (A^-) tepkimeye girer ve enolat anyonu, $CH_3(C=O)CH_2^-$ oluşturur. Bu anyonun Lewis yapısını çiziniz ve her bir rezonans yapısının bağıl katkısını belirtiniz.

125. PBr_4^- anyonu sentezlenmiş ve düzgün dörtyüzlü bir iyon yapısında olduğu belirtilmiştir. Bu açıklamayı yorumlayınız.

126. Kükürdün allotroplarından biri, sekiz kükürt atomundan oluşmuş halkalı bir yapıdadır. S_8 halkasının Lewis yapısını çiziniz. Halkanın düzlemsel olma olasılığı var mıdır? S_8 halkası, S_8O vermek üzere oksitlenebilir. S_8O bileşiğinde, oksijen atomu kükürtlerden birine bağlanır ve S_8 halkası korunur. S_8O bileşiğinin Lewis yapısını çiziniz.

127. Fosforun allotroplarından biri, bir dörtyüzlünün köşelerinde dört fosfor atomu içerir. Bu allotropun oktet kuralına uygun Lewis yapısını çiziniz. P_4 molekülü P_4O_6 bileşiğine oksitlenir ve oksijen atomları fosfor atomlarının arasına girer. Bu oksitin Lewis yapısını çiziniz. P–O–P bağları doğrusal olabilir mi?

Özellikli Sorular

128. Pauling'in orijinal elektronegatiflik sıralaması şu fikirden ortaya çıkmıştır: Eğer A—B bağının polar olmadığını varsayarsak, onun bağ enerjisi A—A ve B—B bağ enerjilerinin ortalamasıdır. A—B bağının hesaplanan ve ölçülen bağ enerjileri arasındaki *fark*, bağın kısmi iyonik karakterinden ileri gelir ve *iyonik rezonans enerjisi* (IRE) adını alır. IRE mol başına kJ olarak verilirse, IRE ve elektronegatiflik farkı arasındaki bağıntı $(\Delta EN)^2$ = IRE/96 dır. Bu bağıntıyı elektronegatiflik derecesini bulmakta denemek için,
(a) H—Cl bağının IRE değerini, Çizelge 10-3'teki veriler yardımı ile bulunuz.
(b) H—Cl bağı için ΔEN yi hesaplayınız.
(c) Şekil 10-7 deki ve (b) şıkkında bulduğunuz sonuçları kullanarak H—Cl bağının yaklaşık yüzde iyonik karakterini hesaplayınız. Bu sonucu alıştırma 10-4'de bulunan değerle karşılaştırınız.

129. Sayfa 431 de, H_2O molekülünün bağ açısı 104° olarak verilmiştir ve oluşan dipol moment μ = 1,84 D dir.
(a) Uygun bir geometrik hesaplamayla H_2O daki H—O bağının dipolünü bulunuz.
(b) (a) şıkkındaki aynı yöntemi kullanarak, H_2S deki bağ açısını hesaplayınız (H—S bağının dipolü 0,67 D ve oluşan net dipol moment μ = 0,93 D).
(c) Sayfa 431 deki Şekil 10-15'e bakınız. Bağ di-

polleri C—H bağı için 0,30 D ve C—Cl bağı için 1,87 D verilmiş olup net dipol μ= 1,04'dür. $CHCl_3$ molekülündeki H—C—Cl bağ açısını hesaplayınız.

130. Merkez atomu bir tane olan iyon veya moleküllere VSEPR yöntemini uygulamak için, bu bölümde daha önce kullandığımız alternatif yöntemler önerilmiştir. Genelde bu yöntemler Lewis yapılarını yazmayı gerektirmez. Bu yöntemlerin birinde;
(1) toplam elektron çiftleri sayısı = [(değerlik elektronları sayısı) ± (iyonik yük için gerekli elektronlar)]/2
(2) bağ yapan elektron çiftleri sayısı = (atomların sayısı) – 1
(3) merkez atomu çevresindeki elektron çiftleri sayısı = toplam elektron çiftleri sayısı –3 × [uçtaki atomların sayısı (H hariç)]
(4) ortaklanmamış elektron çiftleri sayısı = merkez atom çiftleri sayısı – bağlayıcı elektron çiftleri sayısı yazılır. 2, 3 ve 4 kısımlarını değerlendirdikten sonra VSEPR gösteriminin yazımını ve molekül şeklinin belirlenmesini gözden geçiriniz. Aşağıdaki geometrik şekilleri belirlemede bu yöntemi kullanınız. **(a)** PCl_5; **(b)** NH_3; **(c)** ClF_3; **(d)** SO_2; **(e)** ClF_4^-; **(f)** PCl_4^+. Bu yöntemdeki herbir basamağı doğrulayınız ve neden Lewis yapılarına dayandırılan VSEPR yöntemindekiyle aynı sonuçları verdiğini açıklayınız. Bu yöntem katlı bağlar için de geçerli midir?

Kendi Kendini Deneme Soruları

131 Şu terimleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız: **(a)** değerlik elektronları; **(b)** elektronegatiflik; **(c)** bağ ayrışma enerjisi; **(d)** ikili kovalent bağ; **(e)** koordine kovalent bağ.

132. Şu kavramları açıklayınız: **(a)** formal yük; **(b)** rezonans; **(c)** genişlemiş değerlik kabuğu; **(d)** bağ enerjisi.

133. Şu terim çiftleri arasındaki önemli farkları açıklayınız: **(a)** iyonik ve kovalent bağ; **(b)** ortaklanmamış ve bağlayıcı elektron çiftleri; **(c)** molekül geometrisi ve elektron grubu geometrisi; **(d)** bağ momenti ve net dipol moment; **(e)** polar molekül ve apolar molekül.

134. Aşağıdakilerden hangisi üçlü bir bağ içerir; **(a)** NO_3^-; **(b)** CN^-; **(c)** CO_2; **(d)** $AlCl_3$.

135. $[ONO]^+$ iyonundaki oksijen atomlarının formal yüklerini bulunuz.

136. Hangi molekül çizgisel değildir? **(a)** SO_2; **(b)** CO_2; **(c)** HCN; **(d)** NO.

137. Hangi molekül polar değildir? **(a)** SO_3; **(b)** CH_2Cl_2; **(c)** H_3N; **(d)** FNO.

138. Aşağıdaki moleküllerden hangisinin bağ ayrışma enerjisi en büyüktür? **(a)** O_2; **(b)** N_2; **(c)** Cl_2; **(d)** I_2.

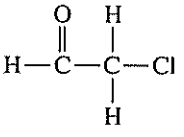
139. Bağ uzunluğu en büyük olan hangisidir? **(a)** O_2; **(b)** N_2; **(c)** Br_2; **(d)** BrCl.

140. Aşağıdakilerin uygun Lewis yapılarını çiziniz (gerektiğinde genişlemiş değerlik kabuklarını kullanınız). **(a)** Cl_2O; **(b)** PF_3; **(c)** CO_3^{2-}; **(d)** BrF_5.

141. Aşağıdaki kükürt içeren türlerin geometrik şekillerini tahmin ediniz. **(a)** SO_2; **(b)** SO_3^{2-}; **(c)** SO_4^{2-}.

142. Kitaptaki çizelge ya da şekillere başvurmadan, sadece periyodik çizelgeyi kullanarak, Bi, S, Ba, As ve Mg atomlarını artan elektronegatifliğe göre sıraladığınızda hangi atomun orta değerde bir elektronegatifliğe sahip olduğunu bulunuz.

143. Aşağıdaki yapıda bağların **(a)** bağ uzunluğunu **(b)** bağ enerjisini, Çizelge 10.2 ve 10.3 ü de kullanarak belirleyiniz.



144. VSEPR kuramı nedir? VSEPR kuramı hangi fiziksel temele göre ortaya atılmıştır?

145. NH_3 molekülünü dikkate alarak molekül geometrisi ile elektron grubu geometrisi arasındaki farkı açıklayınız.

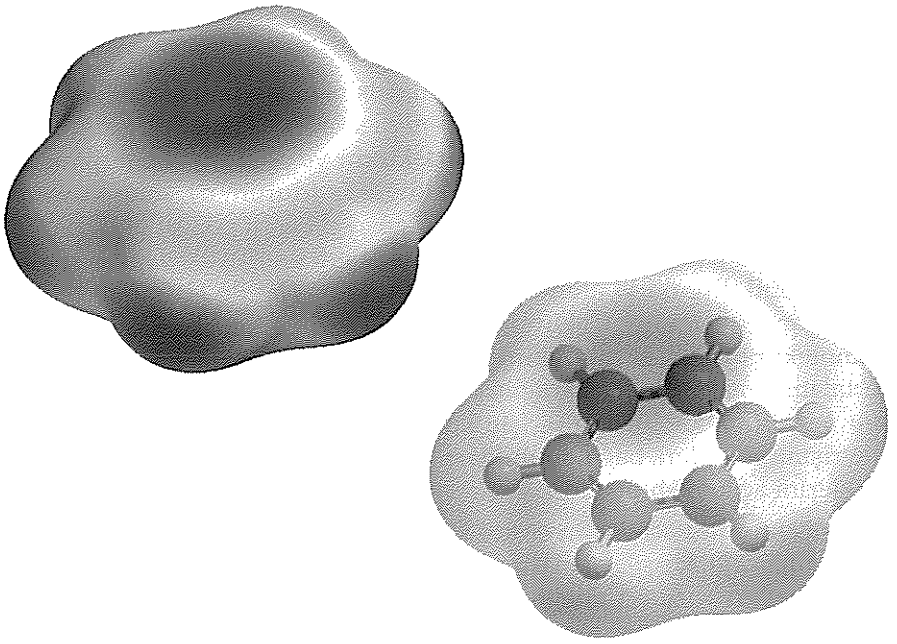
146. Bir merkez atomu etrafında dört elektron çiftiniz varsa hangi koşullarda piramidal bir moleküle sahip olabilirsiniz? Açısal bir moleküle nasıl sahip olabilirsiniz? Herbir durumda beklenen bağ açıları ne olur?

147. Sülfin molekülü, H_2CSO, için üç rezonans yapı çiziniz. Halkalı yapıları düşünmeyiniz.

148. Lewis nokta yapıları, molekül geometrisi ve polariteleri arasındaki ilişkileri gösteren bir kavram haritası oluşturunuz.

11

Kimyasal Bağ II: Bağ Kuramları



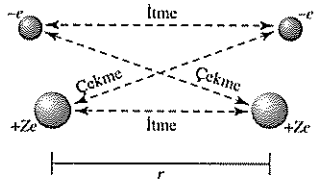
π molekül orbitallerinin oluşturduğu negatif yük yoğunluğunu gösteren, benzenin elektrostatik potansiyel haritaları.

İÇİNDEKİLER

11-1 Bir Bağ Kuramı Nasıl Olmalıdır?
11-2 Değerlik Bağ Kuramına Giriş
11-3 Atom Orbitallerinin Melezleşmesi
11-4 Katlı Kovalent Bağlar
11-5 Molekül Orbital Kuramı
11-6 Delokalize Elektronlar: Benzen Molekülünde Bağlanma
11-7 Metallerde Bağlanma
11-8 Bazı Çözümlenmemiş Konular: Elektron Yük-Yoğunluğu Çizimleri Yardımcı Olabilir mi?

Lewis kuramı, kimyasal bağın niteliğini anlamamızda büyük yardımları olmasına karşın, bazı eksikleri olan bir kuramdır. Örneğin, metallerin elektriği nasıl ilettiklerini ve yarı iletkenlerin özelliklerini Lewis kuramıyla açıklayamayız. Gerçi biz bu kuramı kullanmaya devam edeceğiz, ama bazı gözlemleri açıklamak için daha gelişmiş başka yaklaşımlara da gereksinmemiz vardır. Kimyasal bağı daha iyi açıklamak için ortaya atılan iki önemli kuram daha vardır. Bunlardan biri *s*, *p* ve *d* atom orbitallerini ve bu orbitallerin bir karışımı olan *melez orbitalleri* temel alır. Diğer kuram ise moleküllerin de tıpkı atomlar gibi orbital dizilerine sahip olduğunu ve moleküldeki elektronların bu *molekül orbitallerine* yerleştiğini kabul eder.

Bu bölümde amacımız, belli başlı kovalent bağ kuramlarını ayrıntıları ile ele almak değil, kovalent bağın niteliğini anlamak için, Lewis kuramının tek başına başarılı olamadığı durumlarda diğer kimyasal bağ kuramlarından yararlanmaktadır.



▲ ŞEKİL 11-1
İki hidrojen atomu arasındaki etkileşme türleri
Sonsuz uzaklıktaki iki hidrojen atomu birbirine yaklaştığında oluşan etkileşme türleri. Kesikli çizgiler etkileşme türlerini (çekme etkileşimleri kırmızı, itme etkileşimleri siyah ve mavi) gösterir. Siyah kesikli çizgi, iki hidrojen atomu arasındaki çekirdeklerarası uzaklığı, *r*, belirtir.

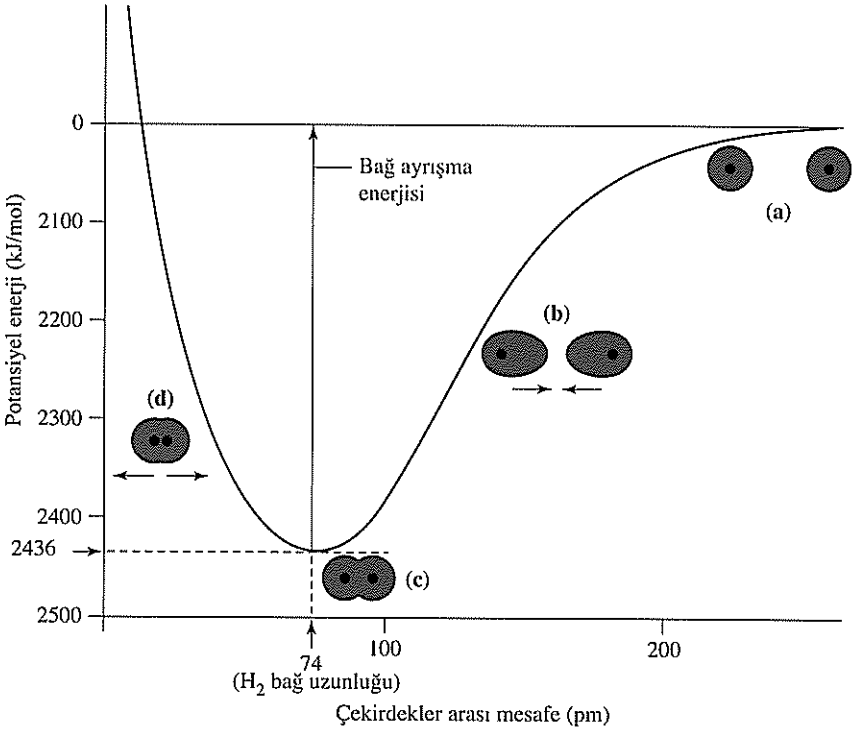
11-1 Bir Bağ Kuramı Nasıl Olmalıdır?

Hidrojen molekülü, bağ kuramlarını tartışmak için kullanabileceğimiz basit bir moleküldür. Başlangıçta birbirinden sonsuz uzaklıkta bulunan iki H atomunun birbirine yaklaştığını düşünelim. H atomları sonsuz uzaklıkta bulunduğunda, birbiri ile etkileşemez ve iki H atomu arasındaki net etkileşme enerjisi sıfırdır. Birbirine yaklaştıklarında ise, üç tip etkileşim olur: (1) her elektron diğer çekirdek tarafından çekilir (Şekil 11-1 de kırmızı kesikli çizgi); (2) elektronlar birbirini iter (Şekil 11-1 de mavi kesikli çizgi); (3) iki çekirdek birbirini iter (Şekil 11-1 de siyah kesikli çizgi).

Burada meydana gelen potansiyel enerji değişimini– etkileşen atomların net enerjisi– çekirdekler arası uzaklığın bir fonksiyonu olarak grafiğe geçirebiliriz.

Şekil 11-2 iki H atomunun net enerji ilişkisini göstermektedir. İki atom birbirinden çok uzakta olduğu zaman enerji sıfırdır (durum a). Ara uzaklıklarda (durum b), çekme kuvvetleri baskındır ve potansiyel enerji negatiftir. Çekirdekler arası uzaklık çok azaldığında (durum d), itme kuvvetleri çekme kuvvetlerinden fazladır ve potansiyel enerji pozitif olur. Belirli bir uzaklıkta (74 pm, durum c) potansiyel enerji en düşük değere ulaşır (–436 kJ/mol). Bu, iki H atomunun bir kovalent bağ ile H_2 molekülünü oluşturduğu durumdur. Çekirdekler sürekli ileri ve geri hareket ederler yani molekül titreşir, ancak çekirdekler arası ortalama uzaklık sabit kalır. Bu ortalama uzaklık *bağ uzunluğuna*, potansiyel enerji de *bağ ayrışma enerjisinin* negatifine karşılık gelir. İşte kovalent bağ kuramı, bir molekülün bağ ayrışma enerjileri, bağ uzunlukları ve bağ açıları gibi gözlenen bir dizi özelliklerini açıklayabilmelidir.

Bağ oluşumunu açıklayan çeşitli kuramlar vardır. Ancak, hangi kuramın kullanılacağı, karşılaşılan duruma bağlıdır; çünkü her kuramın güçlü ve zayıf yanları vardır. Örneğin, Lewis kuramının güçlü yanı, uygulanmasının kolay olmasıdır. Bir Lewis yapısını hızlı bir şekilde yazabiliriz. Deneysel sonuçlarla iyi uyuşan molekül geometrisini ise VSEPR kuramı



▶ ŞEKİL 11-2
İki H atomunun çekirdeklerarası uzaklığa bağlı etkileşme enerjisi
(a) iki H atomu birbirinden sonsuz uzakta olduğu zaman potansiyel enerji sıfırdır. **(b)** iki H atomu yaklaştıkça net etki çekmedir. Çekirdekler arası uzaklık azaldıkça potansiyel enerji de azalır. **(c)** eğrinin minimum olduğu noktada da çekme ve itme eğilimi yoktur. Bu çekirdeklerarası uzaklıkta (74 pm) molekül en kararlı haldedir. **(d)** Eğrinin eğiminin sağdan sola doğru, yukarı yönde olduğu yerde etkileşim türü itmedir. İtme kuvveti çekirdekler arası uzaklık, *r*, azaldıkça artar.

ile kolayca açıklayabiliriz. Ancak, bu yöntemler, bağ enerjileri ve bağ uzunlukları hakkında nicel bilgi vermezler. Bundan başka, Lewis kuramı tek elektronlu taneciklerin yapısını ve tek bir molekül yapısıyla gösterilemeyen (rezonans) yapıları açıklamakta yetersiz kalır.

11-2 Değerlik Bağ-Kuramına Giriş

Bölüm 9 dan, matematiksel olarak H atomunda elektronun bulunma olasılığının en yüksek olduğu bölgenin, 1s orbitali olduğunu anımsarsınız (sayfa 328). İki H atomu, Şekil 11-2 de olduğu gibi, birbirine yaklaşırken bu bölgeler birbiri içine girmeye başlar. Bu olaya iki atom orbitalinin örtüşmesi deriz. Ayrıca, 1*s* orbitalleri örtüştüğünde, atom çekirdekleri arasındaki bölgede elektronun bulunma olasılığı artar ve iki atom arasında bir bağ oluşur. Artan negatif yüklü elektron yoğunluğu, pozitif yüklü iki H çekirdeğinin çekilmesine neden olur. Böylece, H_2 molekülünde iki H atomu arasında bir kovalent bağ meydana gelir.

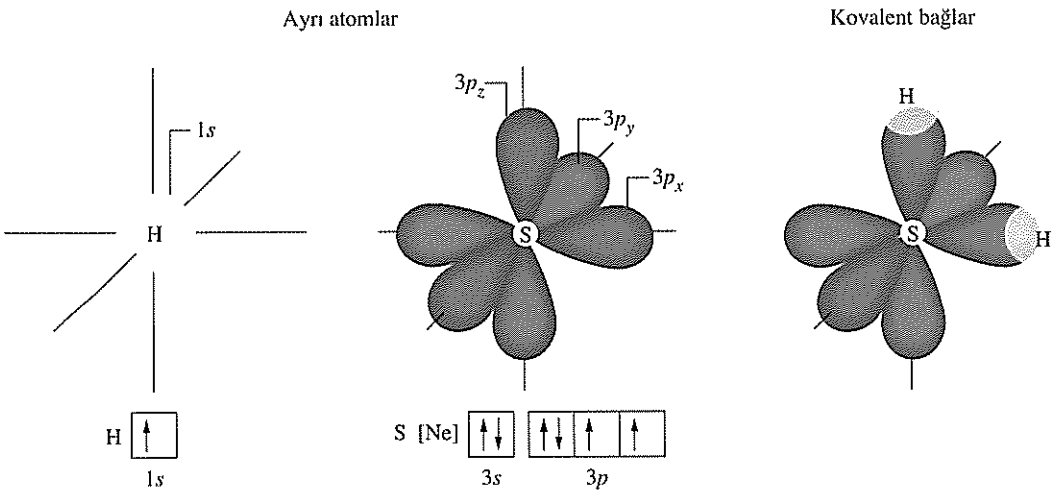
Atom orbitallerinin örtüşmesiyle kovalent bağ oluşması kavramına **değerlik-bağ yöntemi** adı verilir. Değerlik-bağ yöntemine göre, bir kovalent bağın oluşabilmesi için atom orbitallerinin yarı dolu olmaları gerekir. Bununla birlikte, dolu bir orbital ile boş bir orbitalin örtüştüğü de görülür. Değerlik-bağ kuramı, bağ oluşumu için *lokalize* bir elektron modeli öngörür. İçteki elektronlar ve ortaklanmamış değerlik elektronları çiftleri, tıpkı bağ yapmamış olanlar gibi orbital konumlarını korurlar, bağ yapan elektronların yük yoğunluğu orbital örtüşmesinin meydana geldiği bölgede yoğunlaşır.

◀ "Örtüşme" dediğimiz olay gerçekte iki orbitalin birbiri içine girmesidir.

UNUTMAYINIZ

Gerçek orbital biçimleri sayfa 331 de gösterilmiştir. Buradaki orbitaller, kitabın geri kalanında olduğu gibi, şematik gösterimlerdir.

Hidrojen sülfür bileşiğinde hidrojen-kükürt bağı oluşurken, atom orbitallerinin nasıl örtüştüğü Şekil 11-3 de görülmektedir. H atomunun 1*s* orbitali ile S atomunun 3*p* orbitali arasındaki örtüşmenin, H ve S atomlarını birleştiren bir çizgi boyunca en yoğun olduğuna dikkat ediniz. H_2S de



▲ ŞEKİL 11-3
H_2S de atom orbitallerinin örtüşmesiyle bağ oluşumu
S atomunun sadece 3*p* orbitalleri gösterilmiştir. Bu orbitallerin pozitif ve negatif fazları kırmızı ve mavi ile işaretlenmiştir. Ancak hangi fazın pozitif ya da negatif olduğunu bilmiyoruz; bildiğimiz ise onların zıt fazlı olduğudur. *p* orbitalinin açısal kısmı dairesel olmasına karşın, dalga fonksiyonunun radyal kısmı ile çarpıldığında her lob daha fazla armut biçimindedir, yani Şekil 8-27(c) de gösterilen olasılık dağılımına benzer .Bağ aynı fazdaki orbitaller arasında meydana gelir (aynı renk). Hidrojenin 1*s* orbitali daha iyi görünsün diye sarı renkli gösterilmiştir.

orbital örtüşmesine katılan iki yarı dolmuş $3p$ orbitali birbirine diktir ve değerlik-bağ yöntemi H—S—H bağ açısını 90° olarak öngörür. Bu sonuç, gözlenen 92° lik açı ile iyi uyuşmaktadır.

11-1 MERAK EDİYORSANIZ...

Orbitallerin örtüşmesi neden bir kimyasal bağ oluşturur?

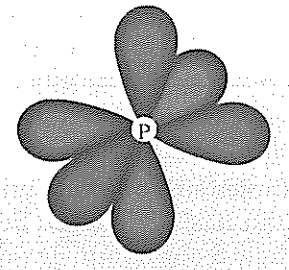
Örtüşmeyle oluşan ilave kararlılığın nedeni, *aynı fazda* iki atom dalga fonksiyonunun örtüşmesiyle dalga fonksiyonlarının birbirini güçlendirecek şekilde girişim yapması ve iki çekirdek arasında elektron yoğunluğunu arttırmasıdır. Artan elektron yoğunluğu negatif bir yük olup, pozitif yüklü çekirdekleri çeker ve enerji azalmasına neden olur. Yani bağ yapmış atomların enerjisi, bağ yapmamış duruma göre daha düşüktür. Sonuç olarak, çekirdekler arasında elektron yoğunluğunun artması kimyasal bağı oluşturur. Bu bölümün sonuna doğru orbitaller arasındaki etkileşimle ilgili daha fazla bilgi verilecektir.

ÖRNEK 11-1 Molekül Yapısının Belirlenmesinde Değerlik-Bağ Yönteminin Kullanılması

PH_3 molekülünün yapısını değerlik-bağ yöntemi ile açıklayınız.

Analiz

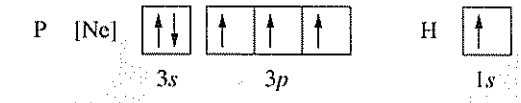
Değerlik-bağ yöntemi dört basamakta uygulanır. Önce, merkez atomun değerlik elektronlarını belirlemeliyiz. İkinÖ olarak değerlik orbitallerini çizmeliyiz. Üçüncü olarak, merkez atoma bağlanacak atomları belirleyerek orbital örtüşmesini çizeriz. Son olarak, oluşan yapıyı tanımlarız. Bu basamaklar Şekil 11-4 'de gösterilmektedir.



P atomunun bağ yapan orbitalleri

Çözüm

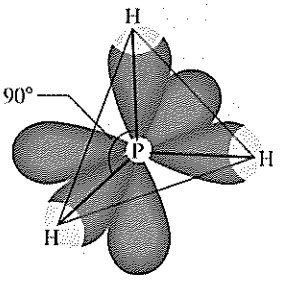
1. Basamak. Her bir atomun değerlik kabuğu orbital diyagramlarını çiziniz.



2. Basamak. Merkez atomunun (P) örtüşen orbitallerini çiziniz. Bunlar yarı-dolmuş $3p$ orbitalleridir (Şekil 11-4).

3. Basamak. Bağlı atomları ve orbital örtüşmesini birlikte göstererek, yapıyı tamamlayınız.

4. Basamak. Yapıyı tanımlayınız. PH_3 *üçgen piramit* yapısında bir moleküldür. P atomu, H atomlarının oluşturduğu düzlemin üstünde, yani piramidin tepesinde yer alır ve üç H—P—H açısı 90° dir.



Kovelent bağ oluşumu

▲ ŞEKİL 11-4
Örnek 11-1 de gösterilen PH_3 molekülünün yapısı ve bağ oluşumu
Yalnızca bağ yapan orbitaller gösterilmiştir. 3 H atomunun $1s$ orbitali, P atomunun üç $3p$ orbitalleri ile örtüşmüştür.

Değerlendirme

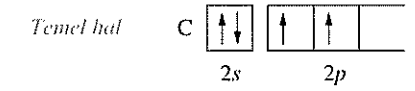
Öngörülen H — P — H açısı 90°, deneysel olarak ölçülen bağ açıları ise 93-94° olup, bu değerler uyuşmaktadır.

ALIŞTIRMA A: Azot triiyodürde, (NI_3) bağ oluşumunu ve beklenen geometriyi değerlik-bağ yöntemini kullanarak belirleyiniz.

ALIŞTIRMA B: NH_3 molekül geometrisini, önce VSEPR yönetimini daha sonra da yukarıda tanımlanan değerlik-bağ yöntemini kullanarak belirleyiniz. Yanıtlarınız, farklı mıdır? Bu durumda hangi yöntem daha uygun görünmektedir? Açıklayınız.

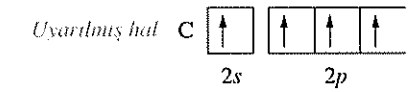
11-3 Atom Orbitallerinin Melezleşmesi

Kesim 11-2 deki değiştirilmemiş değerlik-bağ yöntemini, daha çok sayıdaki moleküllere doğru genişleterek uygulamaya çalışırsak, hemen düş kırıklığına uğrarız. Çoğu zaman değiştirilmemiş atom orbitallerinin basitçe örtüşmesine dayanan, molekül geometrisine ilişkin öngörülerimiz gözlenen ölçümlere uymaz. Örneğin, sadece karbonun değerlik kabuğunun *temel hal* elektron dağılımı göz önüne alınır ve

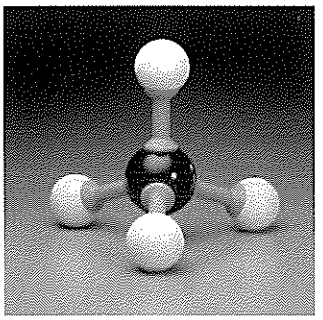


yarı dolmuş orbitalleri kullanıldığı varsayılırsa, bağ açısı 90° olan CH_2 şeklinde bir molekülün bulunabileceği düşünülebilir. Halbuki CH_2 molekülü ancak özel koşullarda gözlenebilen çok etkin bir moleküldür.

Normal laboratuvar koşullarında gözlenebilen en basit hidrokarbon ise metandır, CH_4. Bu molekül Lewis kuramının oktet kuralından beklenen molekül formülüyle uyumlu, etkin olmayan, kararlı bir moleküldür. Bu molekül formülünün değerlik-bağ yöntemi ile elde edilebilmesi için karbon atomunun dört eşleşmemiş elektron içeren bir orbital diyagramına sahip olması gerekirdi. Ancak bu durumda orbital örtüşmesi dört tane C—H bağı oluşturur. Böyle bir diyagramın meydana gelebilmesi için temel haldeki C atomunun 2*s* orbitalinde bulunan elektronlardan birinin, enerji soğurarak, boş 2*p* orbitallerinden birine atlaması gerekir. Oluşan elektron dağılımı bir *uyarılmış hal* olup, aşağıdaki şekilde gösterilebilir.



Bu uyarılmış halin elektron dağılımı, karbon atomunun 2*p* orbitallerinden dolayı, birbirine dik C—H bağı içeren bir molekülü öngörür. Dördüncü H atomu ile oluşturulan dördüncü bağ, molekülde herhangi bir konuma yönlenmiş olabilir. Ancak bu, deneysel olarak belirlenen H—C—H bağ açılarıyla uyuşmamaktadır. Çünkü deneysel veriler, metandaki dört açının da 109,5° olduğunu göstermektedir. Bu durum VSEPR kuramı ile öngörülebilir (Şekil 11-5). Yani uyarılmış hal elektron dağılımı temeline dayanan bağlanma tek başına CH_4 deki bağ açılarını açıklamada yetersizdir.



▲ ŞEKİL 11-5
Metanın, CH_4 top-çubuk modeli
Molekül dörtyüzlü yapıdadır ve H — C — H bağ açıları 109,5° dir.

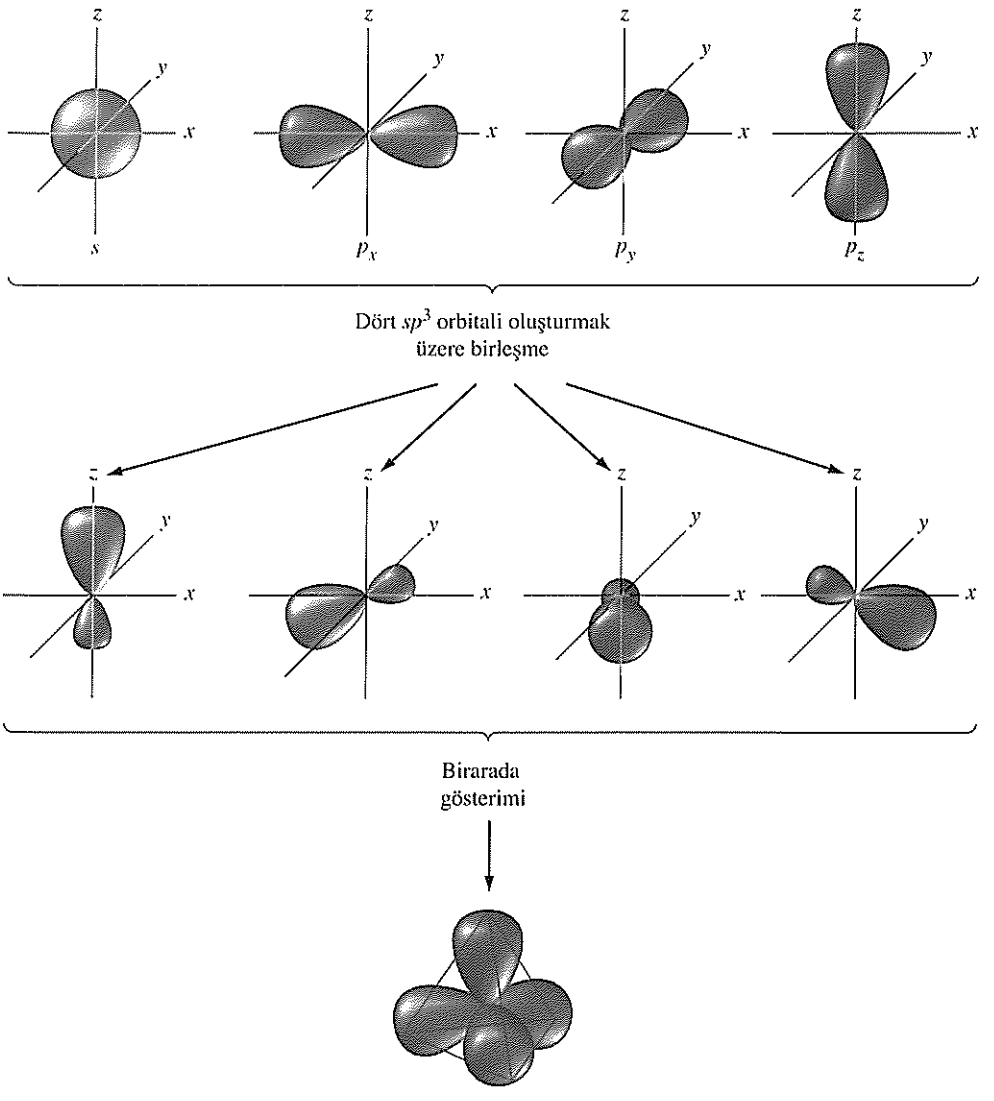
Burada sorun kuramda değil, durumu ele alış biçimimizdedir. Çünkü, *bağ yapmış* atomları, tıpkı *bağ yapmamış* atomlarda olduğu gibi aynı türde *s*, *p*,... gibi orbitallere sahipmiş gibi kabul ettik. Bu kabul H_2S ve PH_3 için iyi sonuç vermişti. Ancak değişime uğramamış bu atom orbitallerinde olduğu gibi, her zaman iyi sonuç vermesini beklememeliyiz.

Bunu açıklamanın bir yolu, bağlı atomların atom orbitallerini yeniden düzenlemektir. Atom orbitallerinin, bir atomdaki elektron dalgalarının matematiksel bir ifadesi olduğunu anımsayınız. Karbon atomunun 2*s* orbitalinin dalga fonksiyonu ile 2*p* orbitallerinin dalga fonksiyonları birleştirilirse, birbirine eşdeğer dört yeni orbital meydana gelir. Bir düzgün dörtyüzlünün köşelerine doğru yönlenmiş olan bu yeni orbitallerin enerjileri, 2*s* ve 2*p* orbitallerinin enerjileri arasındadır. Böyle farklı enerji düzeylerinde atom orbitallerinin karışarak, aynı enerji düzeyinde orbitallere dönüşmesine **melezleşme**, bu yeni orbitallere de **melez orbitaller** denir. Bir *s* ve *üç p* orbitalinin melezleşerek, dört yeni sp^3 **melez orbitallerini** nasıl meydana getirdikleri Şekil 11-6 de görülmektedir. Her sp^3 **melez orbitali** %25 *s* ve %75 *p* karakterine sahiptir.

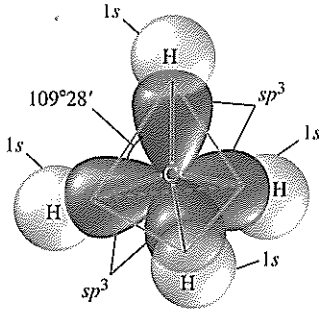
◀ Dalga fonksiyonlarının cebirsel kombinasyonu gerçekte atom orbitallerinin doğrusal bir kombinasyonudur; yani, basitçe toplanabilir ya da çıkarılabilirdirler. Sonuçta elde edilen doğrusal kombinasyonlar, molekülün Schrödinger eşitliğinin çözümleridir.

◀ **Melezleşme** sadece bağlar oluşurken meydana gelir.

Melezleşme sonunda oluşan melez orbitallerin sayısı, melezleşmeye katılan atom orbitallerinin sayısına eşittir. Melezleşmenin türü, melezleşmeye katı-

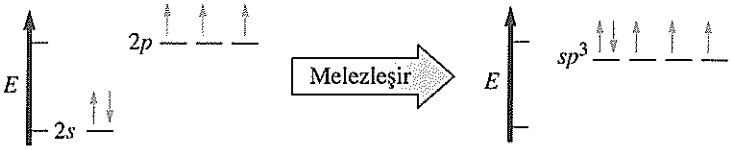


▲ ŞEKİL 11-6
sp^3 melezleşme şeması



▲ ŞEKİL 11-7
CH_4 da yapı ve bağlanma
Karbonun dört orbitali sp^3 melez orbitalleridir (mavi), Hidrojen atomlarının orbitalleri ise (sarı) 1s dir. Yapı dörtyüzlüdür ve H — C — H bağ açıları 109,5° dir. (Tam olarak 109, 471). Hidrojenlerin orbitalleri ile karbonun melez orbitallerinin aynı fazda olduğunu, ancak açıkça görünmesi için hidrojenin orbitallerini sarı renkte gösterdiğimizi anımsayınız

lan atom orbitallerinin cinsi ve sayısı ile belirtilir. Buna göre sp^3 simgesi, *bir s* ve *üç p* atom orbitalinin melezleştiğini gösterir. Karbonun değerlik kabuğundaki orbitallerin sp^3 melezleşmesi aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Üç *p* orbitalinin enerjisinin, 2*s* ve 2*p* enerji seviyeleri farkının 1/4 ü kadar azaldığına, buna karşılık *s* orbitali enerjisinin 3/4 kadar arttığına dikkat ediniz. Yani, enerji korunmuştur. Şekil 12-7, sp^3 melez orbitallerini ve metanda bağ oluşumunu göstermektedir.

Melezleşme kavramı, bir molekülün *deneysel* olarak bulunan geometrisini açıklamak için ortaya atılmıştır. Yani, melezleşme fiziksel olarak gözlenmiş değildir. Saf orbitallerin melez orbitallere dönüştüğüne dair elektron yük dağılımlarını gözleyemeyiz. Atom orbitallerinin melez orbitallere dönüştüğü varsayılmaktadır. Bu kavram birçok molekül geometrisini açıklamakta işe yarasa da bazı kovalent bağlanmalarda bir tek melezleşme biçimi iyi sonuç vermez. Melezleşme kavramı karbon içeren mole-

küllerde çok iyi sonuç verir. Bu nedenle, organik kimyada büyük bir öneme sahiptir.

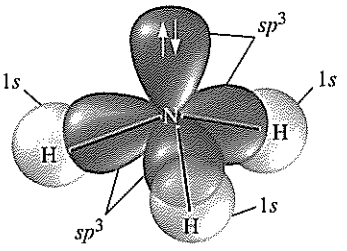
H_2O ve NH_3 de Bağ Oluşumu

VSEPR kuramı, H_2O ve NH_3 moleküllerine uygulandığında *dört* elektron çiftinin bir dörtyüzlü elektron çifti geometrisi oluşturduğu görülür. Buna göre, H_2O ve NH_3 moleküllerinde merkez atomların sp^3 melezleşmesi yapması gerekir. Suyun H—O—H bağ açısı ve amonyağın H—N—H bağ açıları 109,5° olmalıdır. Bu değer, suda deneysel olarak bulunan 104,5° lik açı ve NH_3 da gözlenen 107° lik açılar ile iyi uyuşmaktadır. Örneğin, NH_3 deki bağ oluşumu, azot atomunun değerlik kabuğu orbital diyagramı ile aşağıdaki şekilde gösterilebilir.



◀ Bu orbital diyagramında melez orbitallere, bağ yapan elektronlar kadar, ortaklanmamış elektron çiftlerinin de yerleşebildiğine dikkat ediniz.

sp^3 melez orbitallerden biri, ortaklanmamış bir elektron çifti tarafından işgal edildiğinden, sadece yarı dolmuş üç sp^3 orbitali bağ yapar. Bu yapı, VSEPR kuramının öngördüğü yapıdır ve molekül geometrisi üçgen piramittir (Şekil 11-8).

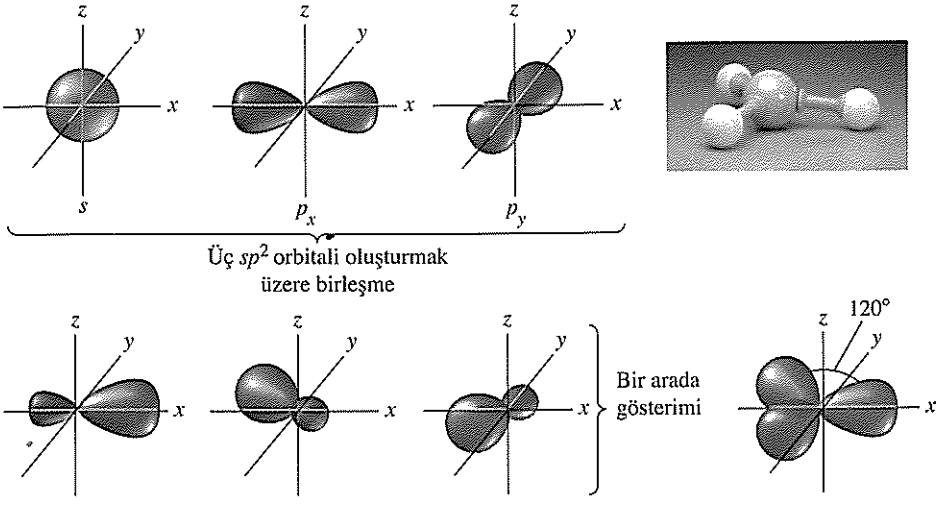


▲ ŞEKİL 11-8
sp^3 melez orbitalleri ve NH_3 da bağlanma
sp^3 melezleşme gösterimi, deneysel olarak gözlenen sonuçlarla iyi uyuşan bir molekül geometrisi verir. Bağ yapmamış elektron çifti hariç tutulursa molekülün geri kalan kısmı bir üçgen piramittir. Hidrojenin orbitalleri belirgin olsun diye sarı ile gösterilmiştir, ancak azotun melez orbitalleri ile aynı fazdadır.

sp^3 melezleşme kavramı H_2O ve NH_3 da çok iyi sonuçlar veriyor gibi görünse de, hem kuramsal hem de deneysel kanıtlar (spektroskopik) H_2O ve NH_3 moleküllerindeki bağların, merkez atomlarında bulunan *melezleşmemiş p* orbitallerinin kullanılmasıyla oluştuğu yönündedir. 1*s* ve 2*p* atom orbitallerinin örtüşmesinden beklenen H—O—H ve H—N—H bağ açıları 90° dir ve gözlenen bağ açılarına uymamaktadır. Bunun akla yakın bir açıklaması, O—H ve N—H bağlarının bir ölçüde iyonik karaktere sahip olmasından ötürü, H atomları üzerindeki kısmi pozitif yükler arasındaki itmeler sonucunda H—O—H ve H—N—H bağlarının açılarak gözlenen değerlere ulaştığı şeklindedir. Gerçekte, H_2O ve NH_3 da bağ yapan orbitallerin en iyi nasıl açıklanabileceği tam olarak bilinmemektedir. *Tüm deneysel* kanıtlarla uyuşan tek bir kuram bulmak zordur.

sp^2 Melez Orbitalleri

Karbonun grup 13 deki komşusu bor'un değerlik kabuğunda *dört* orbital, fakat yalnızca *üç* elektron bulunmaktadır. Çoğu bor bileşiklerinin melezleşme şeması, *bir* 2*s* ve *iki* 2*p* orbitalinin birleşmesiyle *üç* **sp^2 melez orbitalinin** oluştuğunu gösterir. Geriye bir tane melezleşmemiş *p* orbitali kalır. Bor'un bu melezleşme şemasını gösteren değerlik kabuğu orbital diyagramı aşağıdadır. Şekil 11-9 de bu şema daha ayrıntılı gösterilmiştir.



◀ ŞEKİL 11-9
sp^2 melezleşme şeması

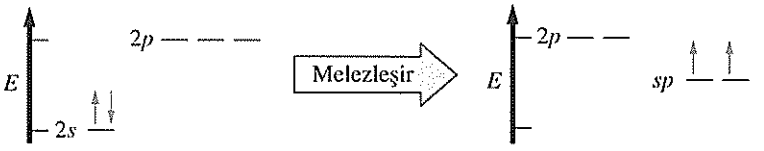


sp^2 melezleşme şeması, BF_3 de olduğu gibi üçgen düzlem elektron çifti geometrisi ve 120° lik bağ açıları içerir. Değerlik bağ kuramının melezleşme şemalarında, orbital sayılarının korunduğuna dikkat ediniz. Şöyle ki, sp^2 melezleşen atomda üç sp^2 orbitali ve bir melezleşmemiş p orbitali olmak üzere yine dört orbital vardır.

sp Melez Orbitalleri

Bor atomunun grup 2 deki komşusu, berilyumun değerlik kabuğunda *dört* orbital ve yalnızca *iki* elektron vardır. Gaz halindeki bazı berilyum bileşiklerini en iyi tanımlayan melezleşme şemasında, berilyumun 2*s* ve *bir* 2*p* orbitali, *iki* ***sp* melez orbitali** vermek üzere melezleşir, geriye kalan iki 2*p* orbitali melezleşmeden kalır. Bu melezleşme şemasında berilyumun değerlik kabuğu orbital diyagramları aşağıdaki gibidir. Bu şema Şekil 11-10 da daha ayrıntılı gösterilmektedir.

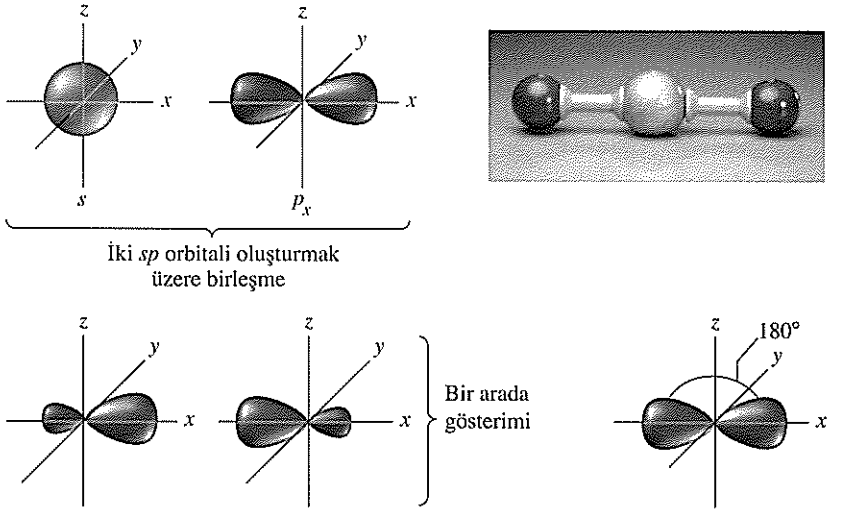
▶ Melezleşmede, molekül orbitali ve değerlik bağ kuramında sadece enerji korunmaz, aynı zamanda orbital sayıları da korunur. sp^2 melez orbitallerinden geriye hâla bir p orbitali kalmıştır ve özellikle karbon için bu çok önemlidir. Karbon melezleşmeyen bu p orbitallerini hemen π bağı yapmak için kullanır (bakınız sayfa 461). Oysa karbonun bir altındaki element silisyum p orbitallerini kolayca kullanamaz; çünkü silisyum daha büyüktür ve p orbitalleri ikili ve üçlü bağ oluşturacak kadar yakın değildir.



sp melezleşme şeması, $BeCl_2(g)$ de olduğu gibi, doğrusal elektron grubu geometrisi ve 180° lik bir bağ açısı öngörür.

11-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki önermeyi tartışınız: Hem CH_3^+ hem de CH_3^- de karbon atomunun melezleşmesi CH_4 ile aynı olmalıdır.

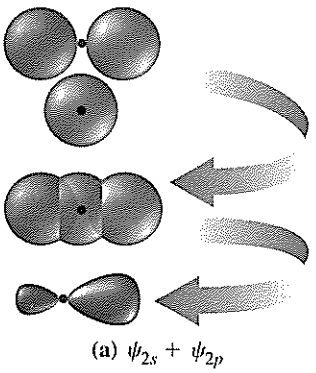


▲ ŞEKİL 11-10
***sp* melezleşme şeması**

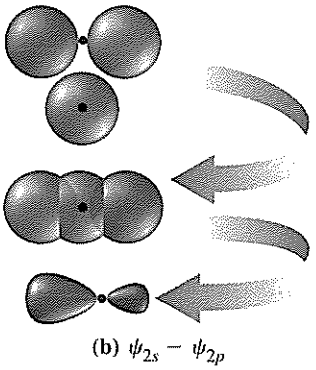
11-2 MERAK EDİYORSANIZ...

Atom orbitalleri melez orbital vermek üzere nasıl karışırlar?

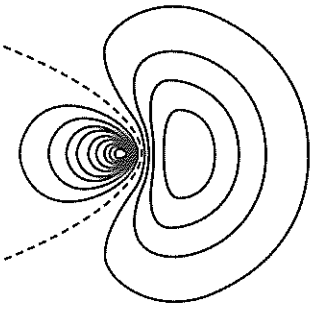
Bir melez atom orbitali, iki ya da daha fazla atom orbitalinin dalga fonksiyonlarının matematiksel bir kombinasyonu (toplanması ya da çıkarılması) sonucu oluşur. *s* ve *p* orbitallerinin dalga fonksiyonları cebirsel olarak toplandığında yeni bir fonksiyon meydana gelir. Bu bir *sp* melezidir. Aynı cebirsel fonksiyonlar birbirlerinden çıkarıldığında, başka bir fonksiyon oluşur. Bu da ikinÖ bir *sp* melezidir. Melezleşme işlemi Şekil 11-11 de gösterilmektedir. Buna göre, *s* ve *p* orbitallerini topladığımızda *p* orbitalinin negatif fazı, pozitif *s* orbitalinin bir kısmını götürür; bunun sonucunda *p* orbitalinin pozitif lobunun yönüne yönlenmiş damla şeklinde bir orbital oluşur. Şekil 11-11 de görüldüğü gibi, iki orbitalin birbirinden çıkarılmasıyla bu durumun tersi oluşur. Bir *s* ve bir *p* orbitalinin iki şekilde kombinasyonu iki tane eşdeğer *sp* melez orbitali meydana getirir; bunlardan birinin büyük lobu (karesi elektron yoğunluğuna karşılık gelir) diğerinden 180° uzaktadır. Benzer bir işlem, biraz daha karmaşık olmasına karşın, üç tane sp^2 ve dört tane sp^3 melez orbitallerinin oluşumu için de yapılabilir.



(a) $\psi_{2s} + \psi_{2p}$



(b) $\psi_{2s} - \psi_{2p}$

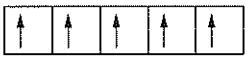


(c)

▲ ŞEKİL 11-11
Bir *sp* melez orbitalinin oluşumu
(a) ve (b) de olasılık-yoğunluk eğrileri yerine *p*, *s* ve *sp* melez orbitallerinin kendileri çizilmiştir. (c) *sp* melez orbitallerinden birinin çevre eğrisi haritası. sp^2 ve sp^3 melez orbitallerinin de çevre eğrisi haritaları benzerdir.

sp^3d ve sp^3d^2 Melez Orbitalleri

VSEPR kuramının 5 ve 6 elektron grup geometrilerine karşılık gelen melezleşme şemalarını tanımlamak için, *s* ve *p* değerlik alt kabuklarının yanı sıra *d* orbitalinin katkılarını da gözönüne almalıyız. Örneğin, PCl_5 de beş P—Cl bağının oluşması için fosforun *beş* yarı dolu orbitale sahip olması gerekir. Molekül geometrisinin üçgen bipiramit olması için, değerlik kabuğun bir *s*, üç *p* ve bir *d* orbitalinin melezleşerek beş adet ***sp*³*d* melez orbitali** oluşturması gerekir.



sp^3d

SF_6 da S—F bağının oluşabilmesi için ise, kükürt atomunun *altı* yarı dolu orbitalinin bulunması ve sekizyüzlü molekül geometrisi için, değerlik kabuğunun bir *s*, üç *p* ve iki *d* orbitalinin melezleşerek *altı adet* ***sp*³*d*² melez orbitalini** meydana getirmesi gerekir.

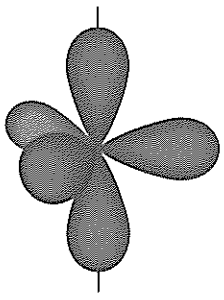


sp^3d^2

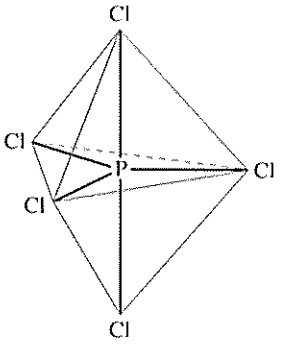
sp^3d ve sp^3d^2 melez orbitalleri ve bunlara ait molekül geometrileri Şekil 11-12 de gösterilmiştir.

Daha önce, melezleşmenin gerçek bir olgu olmayıp deneysel olarak belirlenen bir sonucun açıklanması için ortaya atılan bir kavram olduğunu söylemiştik. Bu duruma en iyi örnek belki de sp^3d ve sp^3d^2 melezleşmesidir. Bölüm 10 da genişletilmiş değerlik kabuğu kavramı tartışılırken, bağ oluşumu şemalarında değerlik kabuğu genişlemesi için *d* elektronlarının kullanıldığını işaret etmiştik. Ancak, son yıllardaki kuramsal öngörüler *d* elektronlarının katkıları konusunda Öddi kuşkular olduğunu göstermektedir. Doğal olarak, aynı kuşkular melezleşme şemalarında *d* orbitallerinin kullanılmasını da kapsayacaktır.

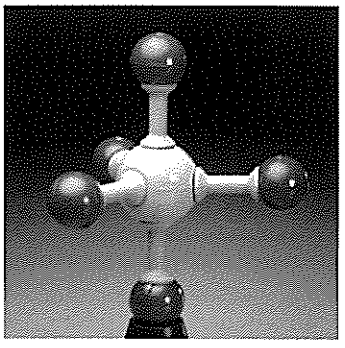
d orbitallerini içeren melezleşme şemalarındaki zorluklara rağmen *sp*, sp^2 ve sp^3 melezleşme şemaları özellikle ikinÖ periyot elementlerinde oldukça iyi yerleşmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

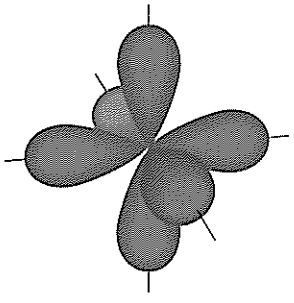


(a) sp^3d orbitalleri

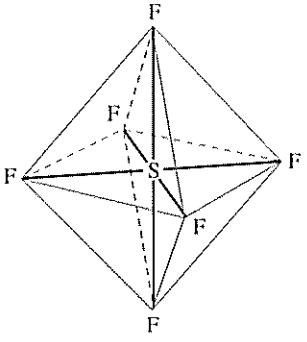


Üçgen bipiramit yapı

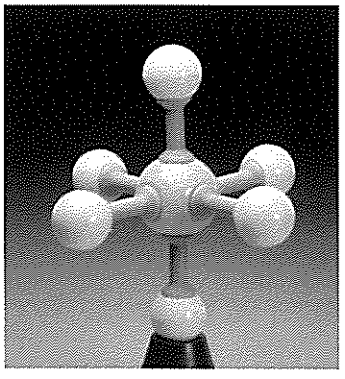




(b) sp^3d^2 orbitalleri



Sekizyüzlü yapı



▲ ŞEKİL 11-12
sp^3d ve sp^3d^2 melez orbitalleri

11-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Arsenik atomunun sp^3d^2 melezleştiği arsenik ve flordan oluşmuş bir bileşik ya da iyonun formülünü yazınız.

Melez Orbitaller ve Değerlik-Kabuğu Elektron Çifti İtme (VSEPR) Kuramı

Önceki kesimde, merkez atomunun uygun melezleşme şemasına karar vermek için deneysel geometriyi ya da VSEPR kuramıyla öngörülen geometriyi kullandık. Melezleşme kavramı, Bölüm 10 da kullandığımız VSEPR kuramının ortaya konmasından önce ortaya çıkmıştır. 1931 de, Linus Pauling CH_4, H_2O ve NH_3 moleküllerinin bilinen geometrilerini açıklamak için orbitallerin melezleşme kavramını ortaya attı. Nevil Vincent Sidgwick ve Harbert Marcus Powell 1940 da ilk kez, molekül geometrisinin değerlik kabuğundaki elektron çiftlerinin düzeni ile belirlendiğini ileri sürdüler. Bu düşünce daha sonra 1957 de Ronald Gillespie ve Ronald Nyholm tarafından VSEPR olarak bilinen bir dizi kuralların oluşturulmasıyla geliştirildi. Melezleşme, molekül geometrisi hakkında bir ön bilgi sağlarken, VSEPR'in üstünlüğü, Lewis yapılarına dayalı olarak molekül geometrilerini öngörebilmesidir. Öyleyse moleküllerdeki bağlanmayı açıklamak için hangi yolları izlememiz gerekir? Değerlik bağ kuramı ile, bir yapıdaki merkez atom için aşağıdakileri uygulayarak uygun bir melezleşme şeması oluşturabiliriz.

Bunun için;

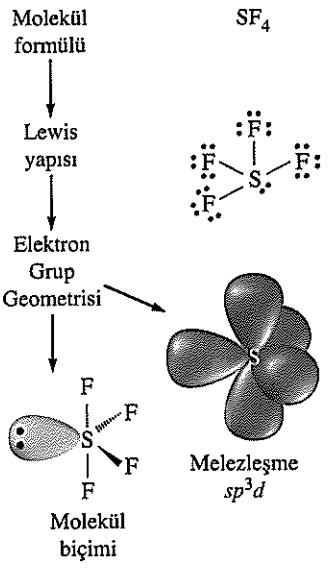
- ilgilendiğiniz tür için uygun bir Lewis yapısının yazılması
- VSEPR kuramını kullanarak, merkez atomunun olası elektron grubu geometrisinin öngörülmesi

- elektron grubu geometrisine karşılık gelen melezleşme şemasının seçilmesi.

Yukarıdaki işlemlerin SF_4 molekülüne uygulanması Şekil 11-13 de görülmektedir.

Çizelge 11.1 de gösterildiği gibi, merkez atomu için seçilen melezleşme şeması, değerlik kabuğundaki elektron gruplarıyla aynı sayıda melez orbital taşımalı ve aynı geometrik yönelimde bulunmalıdır. Buna göre, merkez atomunun sp^3 melezleşme şeması, bir dörtyüzlü şeklinde yönlenen dört melez orbital içermelidir. Molekül geometrisi, bu melez orbitallerden orbital örtüşmesi yapanların sayısı ile ortaklanmamış elektron çiftlerinin sayısına bağlı olarak belirlenir. Dörtyüzlü, üçgen düzlem ve açısal geometrilere karşılık gelen VSEPR gösterimleri sırasıyla AX_4, AX_3E ve AX_2E_2 dir.

s ve *p* melez orbitalleri başlıca H, C, O ve N içeren organik bileşikler için özellikle önemlidir. Gelecek kesimde bunların organik kimyadaki bazı önemli uygulamalarını göreceğiz.



▲ ŞEKİL 11-13
Elektron grup geometrisi kullanılarak melez orbitallerin belirlenmesi

ÇİZELGE 11.1 Bazı Melez Orbitaller ve Geometrileri

Melez Orbitaller	Geometrisi	Örnek
sp	Doğrusal	$BeCl_2$
sp^2	Düzlem üçgen	BF_3
sp^3	Dörtyüzlü	CH_4
sp^3d	Üçgen bipiramit	PCl_5
sp^3d^2	Sekizyüzlü	SF_6

ÖRNEK 11-2 Molekül Biçiminin Melezleşme Şeması ile Önerilmesi

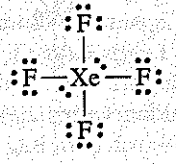
XeF_4 molekülünün geometrisini ve buna uygun melezleşmeyi öngörünüz.

Analiz

Şekil 11-13 deki sırayı izleyiniz.

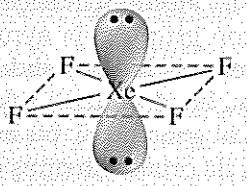
Çözüm

1. ***En uygun Lewis yapısını yazınız.*** Lewis yapısı, Xe atomundan *sekiz*, *dört* F atomunun her birinden *yedi* olmak üzere toplam 36 değerlik elektronu için yazılmalıdır. Lewis yapısında bu çok sayıdaki elektronu yerleştirmek için Xe atomunun değerlik kabuğunu 12 elektronu barındıracak şekilde genişletmeliyiz. Lewis yapısı aşağıdaki gibi yazılır.



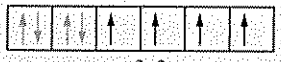
2. ***Merkez atomun elektron grubu geometrisini VSEPR kuramını kullanarak belirleyiniz.*** Lewis yapısından Xe atomu çevresinde *altı* elektron grubu olduğunu görürüz. Bunlardan *dört* elektron grubu, bağ yapan elektron çiftleri, *ikisi* ise ortaklanmamış çiftler şeklindedir. Bilindiği gibi, *altı* elektron grubunun geometrisi *sekizyüzlüdür*.

3. ***Molekül geometrisini belirleyiniz.*** XeF_4 için VSEPR gösterimi AX_4E_2 dir ve molekül geometrisi *kare düzlemdir* (Çizelge 10.1 e bakınız). Dört çift bağ elektronu bir karenin köşelerine doğru yönlenmiştir; ortaklanmamış elektron çiftleri ise, burada görüldüğü gibi Xe ve F atomlarının oluşturduğu düzlemin altında ve üstünde bulunurlar.



4. ***VSEPR öngörünüze karşılık gelen bir melezleşme şeması seçiniz.*** *Altı* elektron grubunun bir sekizyüzlü yönlenmesiyle uyumlu olan tek melezleşme şeması sp^3d^2 dir. Bu şema için orbital diyagramı, merkez Xe atomunun sekiz değerlik elektronundan *dördünün*, sp^3d^2 orbitallerinin dördünde teker teker bulunduğunu açıkça göstermektedir. Geriye kalan *dört* değerlik elektronu ise kalan iki sp^3d^2 orbitalinde ortaklanmamış elektron çiftleri olarak yer alırlar. Bu ortaklanmamış elektron çiftleri, yukarıdaki şekilde olduğu gibi Xe ve F atomlarının oluşturduğu düzlemin üzerinde ve altında bulunurlar.

Xe atomunun değerlik kabuğu



sp^3d^2

Değerlendirme

Elektron grubu geometrisindeki elektron çiftleri sayısının, melezleşme için kaç tane orbital kullanılacağını gösterdiğine dikkat ediniz. VSEPR ve melezleşme kuramının birleştirilmesiyle, bir molekül şeklinin ve bağlanmasının nasıl kolayca belirlenebildiğine dikkat ediniz.

ALIŞTIRMA A: Cl_2F^+ iyonunda molekül geometrisini belirleyerek, merkez atomu için uygun bir melezleşme şeması öneriniz.

ALIŞTIRMA B: BrF_4^+ iyonunda molekül geometrisini belirleyiniz ve merkez atomu için uygun bir melezleşme şeması öneriniz.

11-3 MERAK EDİYORSANIZ...

Bir molekül şeklini belirlemek için VSEPR (Kesim 10-7) yöntemi mi, yoksa değerlik-bağ yöntemi mi kullanılmalıdır?

Molekül yapılarını belirlemek için tam "doğru" bir yöntem yoktur. En doğru bilgi sadece yapıyı belirleyen deneysel kanıtlardır. Bu deneysel kanıtları hangi yöntem daha kolay açıklıyorsa o yöntemi seçmelisiniz. H_2S için, değerlik-bağ yöntemi bağ açısını 90° olarak öngörmektedir ve deneysel olarak gözlenen 92° lik bağ açısını bu yöntem VSEPR yönteminden daha iyi açıklamaktadır. H—S—H Lewis yapısı için, VSEPR kuramı bir dörtyüzlü elektron grubu geometrisi öngörmekte; yani bağ açısının 109,5° olduğunu ileri sürmektedir. Ancak, ortaklanmamış elektron çifti/ortaklanmamış elektron çifti ve ortaklanmamış elektron çifti/bağ çifti itmeleri (bakınız sayfa 427) gözönüne alındığında bağ açısının 109,5° dereceden daha az olması gerektiği düşünülebilir.

VSEPR kuramı, çoğu örneklerde mantıklı ve iyi sonuçlar verir. Başka özel bir bilgi olmadıkça, molekül geometrisinin VSEPR kuramı ile belirlenmesi hala iyi bir yöntemdir. Unutmayalım ki, her iki yöntem de basit modeller için geçerlidir. Çok atomlu moleküllerde bu yöntemler dikkatli kullanılmalı ve deneysel sonuçlara itibar edilmelidir.

UNUTMAYINIZ

VSEPR yöntemi yaklaşık molekül geometrisini verirken deneysel verileri kullanır. Oysa değerlik-bağ yöntemi verilen bir geometriye dayalı olarak bağ oluşumunda kullanılan orbitallerle ilişkilidir.

11-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

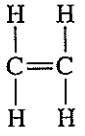
Kare piramit geometriye sahip bir molekülde merkez atomunun melezleşme türü ne olabilir?

11-4 Katlı Kovalent Bağlar

Bu kesimde, katlı bağlara değerlik bağ yöntemi uygulandığında iki farklı tipte orbital örtüşmesi olduğunu göreceğiz. Örnek olarak, etilende, C_2H_4, karbon-karbon ikili bağı ile asetilende, C_2H_2, karbon-karbon üçlü bağının oluşumunu inceleyeceğiz.

C_2H_4 de Bağ Oluşumu

Etilenin Lewis yapısında bir karbon-karbon ikili bağı vardır.

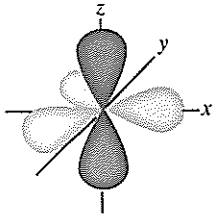


Etilen *düzlemsel* bir molekül olup, H—C—H ve C—C—H bağ açıları 120° dir. VSEPR kuramına göre, her bir C atomu *üç* elektron grubu taşır. VSEPR kuramı iki-CH_2 grubunun aynı düzlemde bulunması gerektiğini öngörmez, fakat göreceğimiz gibi değerlik-bağ kuramı bunu öngörür.

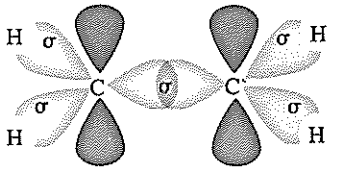
Bir üçgen düzlemin köşelerine yönlenmiş melez orbitaller oluşturan melezleşme sp^2 dir. Bu melezleşmenin değerlik kabuğu orbital diyagramı şöyledir:



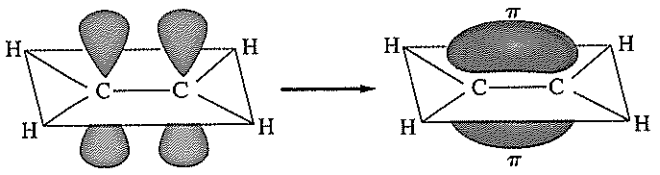
$sp^2 + p$ orbital dizisi Şekil 11-14 de görülmektedir. Karbon atomları arasındaki bağlardan biri, iki C atomunun sp^2 melez orbitallerinin örtüşmesiyle oluşur. Bu örtüşme, iki atomun çekirdeklerini birleştiren çizgi bo-



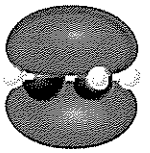
$sp^2 + p$ orbital dizisi



Sigma (σ) bağı

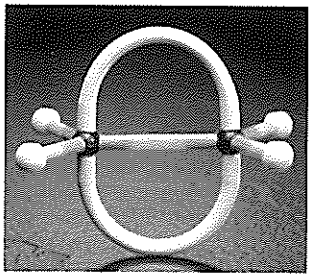


p orbitallerinin pi (π) bağı oluşturması



Etilenin hesaplanan π orbitalleri

◀ ŞEKİL 11-14
C_2H_4 molekülünde sigma (σ) ve pi (π) bağı oluşumu
Mor orbitaller sp^2 melez orbitallerini, kırmızı ve mavi orbitaller ise 2*p* orbitalleridir. sp^2 melez orbitalleri bağ yapmış atomları birleştiren çizgi boyunca örtüşerek bir σ bağı, 2*p* orbitalleri yandan örtüşerek bir π bağı oluştururlar. *p* orbitallerinin fazlarının değişmediğine dikkat ediniz.



▲ ŞEKİL 11-15
Etilenin, C_2H_4 top-çubuk modeli
H — C — H ve C — C — H bağ açıları 120° dir. Model, C atomları arasındaki σ-bağı ile molekül düzleminin altında ve üstünde uzanan π-bağı arasındaki farkı açıkça göstermektedir. π-bağının resmi (beyaz plastik kemerler) biraz bükülmüş olarak görünmektedir. Fakat model, π-bağını molekülün altında ve üstünde yüksek bir elektron yoğunluğu olarak belirtmektedir.

yuncadır. Bu şekilde uç-uca örtüşen orbitaller bir **sigma bağı** oluştururlar ve bu bağ **σ-bağı** şeklinde gösterilir. Şekil 11-14 de, C atomları arasında ikinÖ bir bağ görülmektedir. Bu bağ melezleşmemiş p orbitallerinin örtüşmesinden oluşur. Bu bağda, karbon ve hidrojen atomlarının oluşturduğu düzlemin altında ve üstünde yüksek elektron yoğunluğuna sahip bir bölge vardır. İki paralel orbitalin bu şekilde yandan örtüşmesiyle oluşan bağa **pi bağı** denir ve **π-bağı** şeklinde gösterilir.

Etilende bağ oluşumu, Şekil 11-15 de top ve çubuk modeli ile gösterilmektedir. Bu model şu durumları belirtir:

- bir molekülün şeklini sadece σ-bağını oluşturan orbitaller belirler (σ-bağı iskeleti).
- ikili bağ etrafındaki dönme büyük ölçüde sınırlanmıştır. Top-çubuk modelinde, uç H atomlarını, onları C atomuna bağlayan σ-bağları etrafında kolayca döndürebiliriz. Ancak, bir CH_2 grubunu, diğerinin düzlemi dışına döndürmek için p orbitallerinin örtüşmesini azaltmak ve π-bağını zayıflatmak gerekir. Yani, ikili bağlar kolay kolay bükülmezler ve C_2H_4 molekülü düzlemseldir.

σ-bağındaki örtüşme, π-bağındakinden daha fazladır. Bu demektir ki, bir karbon-karbon ikili bağı ($\sigma + \pi$), tek bağdan (σ) daha kuvvetlidir; ancak tek bağın iki katı kadar kuvvetli değildir. Çizelge 10.3 den, görülebileceği gibi C — C, 347 kJ/mol; C = C, 611 kJ/mol; C ≡ C, 837 kJ/mol'dur.

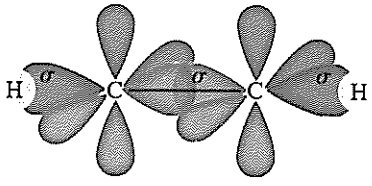
UNUTMAYINIZ
Katlı bağların sadece biri σ bağı, diğerleri ise π bağlarıdır. İkili bağda bir π bağı, üçlü bağda ise iki π bağı vardır.

C_2H_2 de Bağ Oluşumu

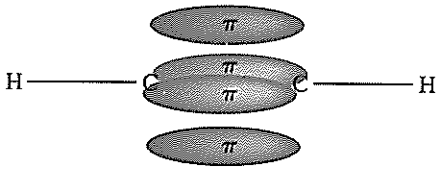
Asetilendeki, C_2H_2, bağ oluşumu C_2H_4 dekine benzer. Ancak bazı farklılıklar vardır. C_2H_2 molekülünün Lewis yapısı bir üçlü kovalent bağ, H — C ≡ C — H, öngörür. Molekül, deneysel olarak gösterildiği ve VSEPR kuramından beklendiği gibi *doğrusaldır*. Melez orbitallerin doğrusal olduğu melezleşme şekli ise *sp* dir. Asetilenin değerlik kabuğu orbital diyagramı şöyle verilebilir:



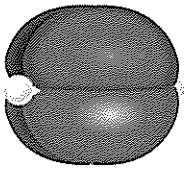
C_2H_2 deki üçlü bağda, karbon-karbon bağlarından biri σ-bağı, diğer ikisi π-bağlarıdır (Şekil 11-16).



σ–bağlarının oluşması



π– bağlarının oluşması


Asetilenin hesaplanan π orbitalleri

▲ ŞEKİL 11-16
C_2H_2 de sigma (σ) ve pi (π) bağlarının oluşumu
σ bağları, H atomlarının 1s orbitalleri ile C atomlarının *sp* orbitallerinin H — C — C — H şeklinde birleşmesiyle oluşur. Molekülde *iki* π bağı vardır. Her π bağı paralel iki puro şeklindeki kesite sahiptir. Bu dört kısım, içinden σ bağı geçen boş bir silindir oluştururlar. Sağda hesapla çizilen model görülmektedir.

ÖRNEK 11-3 σ ve π Bağları İçeren Melezleşme Şemaları

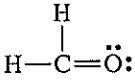
Formaldehit gazı, H_2CO, plastik üretiminde kullanılır. Sulu çözeltisi biyolojik koruyuculardandır ve formalin adını alır. H_2CO molekülünün molekül geometrisini ve bağlanma düzenini bulunuz.

Analiz

Merkez atomlarının etrafındaki elektron gruplarının sayısı melezleşen atom orbitallerinin sayısını gösterir. Formaldehitte karbon atomu üç elektron grubu içerir. (İkili bağın bir grup sayıldığını anımsayınız). Bu da üç atom orbitalinin üç sp^2 orbitali oluşturmak üzere melezleşmesi demektir. Şekil 11-13 de verilen işlem sırasını izleyelim.

Çözüm

1. **Lewis yapısını yazınız.** C, merkez atom, H ve O uç atomlardır. Toplam değerlik elektronları sayısı 12 dir. Bu yapının, bir karbon-oksijen ikili bağı içermesi gerektiğine dikkat ediniz.



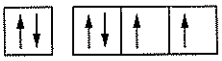
2. **Merkez atomu olan karbonun elektron grup geometrisini belirleyiniz.** σ-bağı iskeleti merkez karbon atomunda üç elektron grubu içerecektir. Bu elektron grupları, VSEPR kuramına göre, 120° lik açılarla yönlenmeli ve bir üçgen düzlem oluşturmalıdır.
3. **Belirlediğiniz elektron grubu geometrisine uyan melezleşmeyi saptayınız.** Orbitallerin bir üçgen düzlem vermesi ancak sp^2 melezleşmesiyle olasıdır.
4. **Merkez atomunun örtüşen orbitallerini belirleyiniz.** C atomu, C_2H_4 deki gibi, $sp^2 + p$ orbital dizisi oluşturacak şekilde melezleşir. sp^2 melez orbitallerinden ikisi H atomları ile σ-bağlarını oluşturur. Geriye kalan sp^2 melez orbitali oksijenle bir σ-bağı meydana getirir. C atomunun melezleşmemiş p orbitali ise O ile bir π-bağı oluşturmak için kullanılır.

C atomunun değerlik kabuğu:

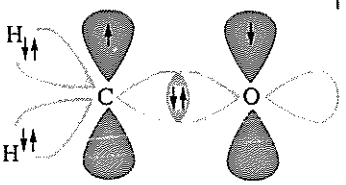


sp^2 $2p$

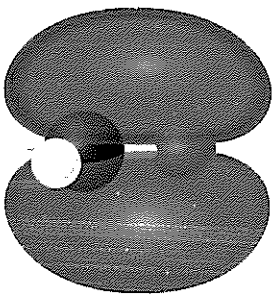
5. **Uç atomların ve merkez atomun bağ yapan orbitallerini çiziniz.** Yukarıda tanımlanan merkez C atomunun bağ yapan orbitalleri Şekil 11-17(a) da gösterilmektedir. sp^2 melez orbitalleri eflatun, p orbitalleri ise mavi ve kırmızı olarak gösterilmiştir. H atomlarının bağ oluşturmaya uygun sadece 1s orbitalleri vardır. Oksijen atomundaki yarı dolmuş orbitallerden biri, karbonun orbitali ile uç-uca örtüşerek σ-bağını, diğeri yine karbonun p orbitaliyle "yandan" örtüşerek π- bağını verir. Oksijen atomunun değerlik kabuğu elektron dağılımını şöyle yazmak olasıdır:



$2s$ $2p$



(a)



(b)

▲ ŞEKİL 11-17
Örnek 11-3 deki H_2CO molekülünün yapısı ve bağ oluşumu
(a) C atomunun $sp^2 + p$ orbitalleri H in 1s orbitali ve O nin iki yarı dolmuş 2p orbitali ile örtüşür. Burada yalnızca bağ yapan değerlik kabuğu orbitalleri gösterilmiştir. (b) CO grubunun hesaplanan π orbitali.

Değerlendirme

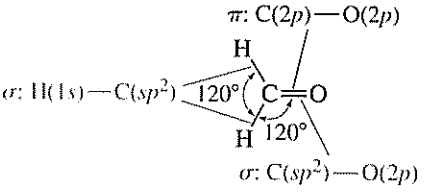
Formaldehit molekülünün yapısını ve bağlanma düzenini gösteren üç boyutlu yapı Şekil 11-17(b) de verilmektedir.

Melez orbital kavramının temel amaçlarından biri molekül geometrisini belirlemektir (örneğin, bağ açıları) Bu yüzden melezleşme şemaları genel olarak, uç atomların melezleşmesi de mümkün olduğu halde (H dışında) merkez atomlarına uygulanır.

H_2CO molekülünün karbon etrafında dört bağı vardır (üç σ- bağı ve bir π-bağı). Bu dört bağ, üç grubu bağlamada kullanılır: Bunlar iki H atomu ve bir O atomudur. Bir atom etrafındaki elektron grubu geometrisini ve bağ açılarını belirlerken σ-bağı ve varsa ortaklanmamış elektron çiftlerini göz önüne alırız.

ALIŞTIRMA A: Dimetil eterin, CH_3OCH_3 uygun bağlanma düzenini ve molekül geometrisini bulunuz.

ALIŞTIRMA B: Sirkenin asidik bileşeni olan asetik asidin formülü CH_3COOH dır. Bu molekülün geometrisini ve bağlanma düzenini bulunuz.



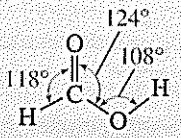
▶ ŞEKİL 11-18
H_2CO da bağ oluşumu—şematik gösterim

Şekil 11-17(b) de görülen üç boyutlu orbital örtüşmesini çizmek kolay değildir. İki boyutlu çizim daha kolaydır. Şekil 11-18 de formaldehidin iki boyutlu orbital çizimi verilmiştir. Burada, atomlar arasındaki bağlar düz çizgilerle gösterilmekte, bağların hangilerinin σ, hangisinin π-bağı olduğu ve hangi orbitallerin örtüşmesinden oluştukları da belirtilmektedir.

Formaldehidin bağlanma düzenini belirlemek için Lewis yapısından yararlandık. Oysa bazı durumlarda deneysel verilerden yola çıkmak gerekebilir. Örnek 11-4 böyle bir durumu göstermektedir.

ÖRNEK 11-4 Melezleşmenin ve Bağlanma Düzeninin Belirlenmesinde Deneysel Verilerin Kullanılması

Formik asit, HCOOH, karıncalar tarafından ısırdıklarında salgılanan yakıcı bir bileşiktir (Latince *formica* "karınca" demektir). Yapısı ve bağ açıları aşağıda verildiği gibidir. Bu yapıya uyan melezleşmeyi ve bağlanma düzenini belirtiniz.

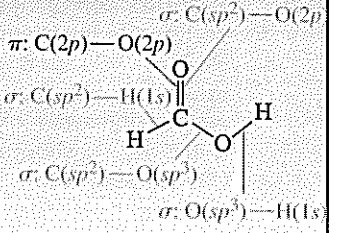


Analiz

Bir molekülün bağ açılarını verdiğimiz zaman, o atomun bağ açılarını belirleyen melezleşme türünü biliyoruz demektir. Örneğin, bağ açısı 109,5 ise sp^3 melezleşmesi bekleriz.

Çözüm

Sol taraftaki 118° lik H—C—O bağ açısı, bağlayıcı üç elektron grubunun üçgen düzlem bir yapıda sahip olacakları 120° lik açıya çok yakındır. Öyleyse, C atomu sp^2 melezleşmesi yapmış olmalıdır. Yine, 124° lik O—C—O bağ açısı da sp^2 melezleşmesinden beklenen 120° lik açıya yakındır. 108° lik C—O—H bağ açısı ise dörtyüzlü açısına (109,5°) yakındır. Buna göre, sağdaki O atomu sp^3 melezleşmesi yapmalıdır. Dört σ ve bir π bağı ile bunları oluşturan orbital örtüşmesi Şekil 11-19 da verilmektedir.

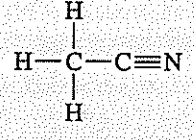


▲ ŞEKİL 11-19
Örnek 11-4 deki HCOOH bileşiğinin yapısı ve bağlanma düzeni

Değerlendirme

Şekil 11-19 da verilen yapıda basitleştirmek için ortaklanmamış elektron çiftleri gösterilmemiştir. Ancak gözlenen bağ açılarından ortaklanmamış elektron çiftlerinin varlığını çıkarabiliriz. Bu molekülün tam iskelet yapısını vermiş olsaydık Lewis yapısı ve VSEPR kuramını kullanarak O atomunun da sp^3 melezleştiği sonucunu çıkarabilirdik.

ALIŞTIRMA A: Asetonitril endüstride kullanılan bir çözücüdür. Asetonitrilin aşağıdaki yapısına uygun bir melezleşme ve bağlanma düzeni öneriniz.



ALIŞTIRMA B: Molekül yapılarını anlatan bir kitapta diazot monoksit (nitröz oksit) ile ilgili şu bilgiler yer almaktadır. Bağ uzunlukları: N — N = 113 pm; N — O = 119 pm; bağ açısı= 180°. N_2O in Lewis yapısının iki yapının bir rezonans melezi olduğunu gösteriniz. Her yapı için akla yakın bir melezleşme ve bağlanma düzeni öngörünüz.

11-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Diazin molekülünün formülü N_2H_2 dir. Azotun melezleşmesi nedir? Molekül bir ikili ya da üçlü bağ içerir mi?

11-5 Molekül Orbital Kuramı

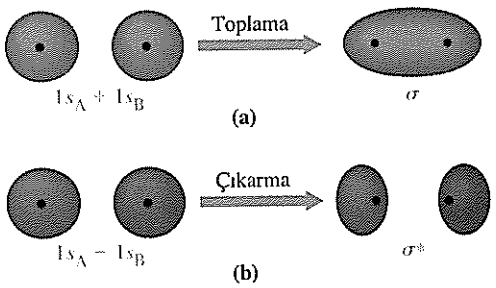
Lewis yapıları, VSEPR kuramı ve değerlik bağ yöntemi molekül yapılarını ve bağlanma düzenini belirlemede yararlı bilgiler verirler. Bu bizim ulaşmak istediğimiz bir çok hedef için yeterlidir. Ancak, kimyacılar bazen molekül yapıları ve özelliklerini daha iyi anlayabilmek için çok daha fazlasına gerek duyarlar. Örneğin, moleküllerin spektroskopik özellikleri, oksijenin paramanyetikliği ve H_2^+ iyonunun kararlı olması gibi bazı gözlemler, yukarıda verilen kuram ve yöntemlerle açıklanamaz. Bu gözlemleri açıklamak için, kimyasal bağlanmayı başka bir açıdan ele almak gerekir.

Bunun için, **molekül orbitali kuramı** denen ve basit moleküllerden yola çıkan, ama ayrıntıya inildikçe karmaşık bir durum alan yeni bir kuram geliştirilmiştir. Biz bu kuramın sadece bir özetini vermeye çalışacağız. Molekül orbitali kuramı, moleküllerin de tıpkı atomlar gibi orbitalleri olduğunu ve moleküldeki elektronların bu orbitallerde bulunduklarını kabul eder. Molekül orbitalleri de tıpkı atom orbitalleri gibi birer *matematiksel* fonksiyon olmakla birlikte, biz bunları, moleküldeki elektronların bulunma olasılığı büyük olan bölgeler diye düşüneceğiz. Bu orbitaller de atom orbitallerinde olduğu gibi, ters spinli iki elektron alabilirler.

Bu bölümün başlarında, iki H atomunun bir kimyasal bağ oluşturmak üzere birbirine yaklaştıklarından söz etmiştik (bakınız Şekil 11-1). Kimyasal bağ oluşturmak için iki H atomu karışıp kaynaştıkça atom orbitallerine ne olur? Atomlar yaklaştıkça her iki H atomundan gelen iki 1*s* dalga fonksiyonu etkileşir. Bu etkileşim yapıcı ya da yok edeci girişim şeklinde olur. Yapıcı girişim, iki matematiksel fonksiyonun toplanmasına (pozitif işaret dalgaların aynı fazda olduğunu gösterir) karşılık gelir. Yok edici girişim ise iki matematiksel fonksiyonun birbirinden çıkarılmasına (negatif işaret dalgaların aynı fazda olmadığını gösterir) karşılık gelir. Bu iki tür etkileşim Şekil 11-20 de görülmektedir.

Dalga fonksiyonlarının bu iki türdeki etkileşmelerini nasıl yorumlayacağız? İki dalga fonksiyonunun yapıcı girişimi (toplanma) çekirdekler arasında daha fazla elektron bulunma olasılığının sonucudur. Yani, çekirdekler arasında artan elektron yük yoğunluğu onların birbirine daha çok yaklaşmasına, dolayısıyla bir kimyasal bağın oluşmasına neden olur. σ_{1s} orbitalinde elektron olasılığı ya da elektron yük yoğunluğu yeni fonksiyon $(1s_A + 1s_B)$ nin karesine, yani $(1s_A + 1s_B)^2$ değerine eşittir. Burada $1s_A$ ve $1s_B$ iki H atomunun 1*s* orbitallerini gösterir. Fonksiyonun karesi, $1s_A^2 + 1s_B^2 + 2 \times 1s_A 1s_B$ olup, $2 \times 1s_A 1s_b$ terimi çekirdekler arasındaki fazladan yük yoğunluğunu belirtir.

Bu yapıcı karışmanın sonucunda bir **bağlayıcı molekül orbitali** oluşur. Çünkü bu durumda çekirdekler arasında yüksek bir elektron yoğunluğu meydana gelir. Atom çekirdekleri arasında yüksek elektron yoğunluğu, pozitif yüklü çekirdekler arasındaki itmeleri azaltır ve kuvvetli bir bağ oluşturur. Bu bağlayıcı molekül orbitali σ_{1s} şeklinde gösterilir ve 1*s* atom orbitallerinden *daha düşük* enerjilidir.



◀ ŞEKİL 11-20
Bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı orbitallerin oluşumu
(a) Aynı fazda iki 1*s* orbitalinin toplanmasıyla σ_{1s} bağlayıcı molekül orbitali oluşur. Bu orbital çekirdekler arasında elektron yoğunluğu meydana getirir ve kimyasal bağ oluşur. **(b)** Aynı fazda olmayan iki 1*s* orbitalinin toplanmasıyla σ^*_{1s} karşıt bağlayıcı molekül orbitali meydana gelir. Bu orbital diğer karşıt bağlayıcı orbitallerde olduğu gibi, çekirdekler arası eksene dik bir düğüm düzlemine sahiptir

İki 1s orbitalinin yok ediÖ girişimi (çıkarma) ile oluşan molekül orbitali çekirdekler arasında elektron olasılığının azalmasına neden olur. Bu şekilde oluşan orbital bir **karşıt bağlayıcı molekül orbitalidir;** çünkü iki çekirdek arasında elektron yoğunlu çok düşüktür. σ^*_{1s} orbitalinde elektron olasılığı ya da elektron yük yoğunluğu, yeni fonksiyonun $(1s_A - 1s_B)$ karesidir, $(1s_A - 1s_B)^2$. Bu ifade de $1s_A^2 + 1s_B^2$ terimlerinin yanı sıra bulunan $-2 \times 1s_A 1s_B$ terimi çekirdekler arasındaki yük yoğunluğunun azalmasına karşılık gelir. $-2 \times 1s_A 1s_B$ teriminin atom fonksiyonlarının toplanmasıyla oluşan molekül orbitalindeki $+2 \times 1s_A 1s_B$ terimini tam olarak dengelediğine dikkat ediniz.

Atom çekirdekleri arasında elektron yoğunluğunun düşük olması, çekirdekleri birbirine karşı perdelemez, kuvvetli itmeler meydana gelir ve bağ zayıflar (bu nedenle "karşıt bağlayıcı" terimi kullanılır). Bu karşıt bağlayıcı molekül orbitali σ^*_{1s} ile gösterilir ve 1s atom orbitallerinden *daha yüksek* enerjilidir.

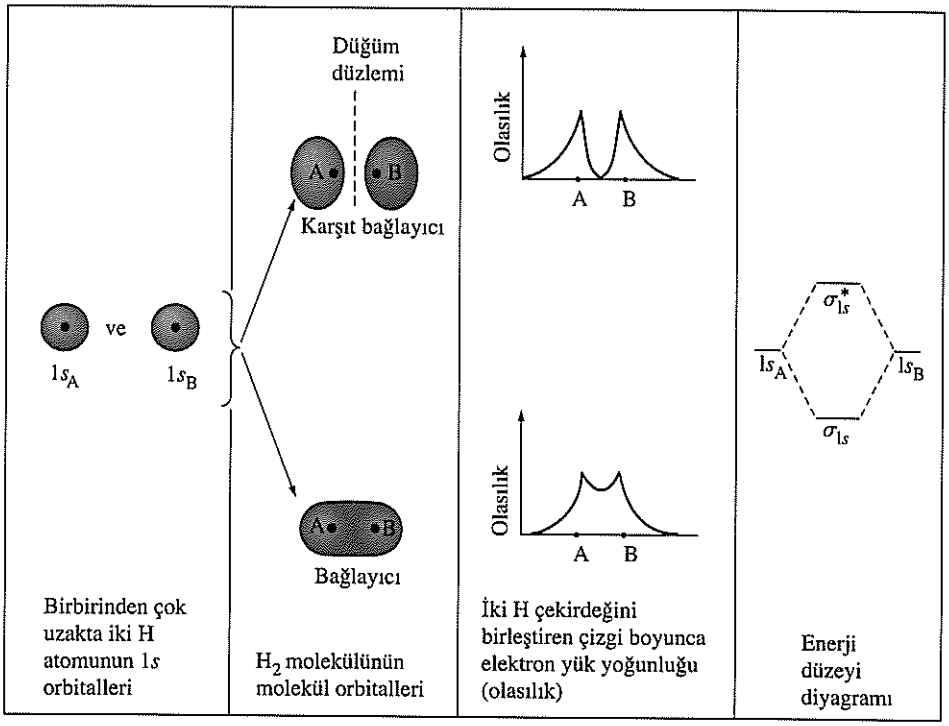
H_2 molekülünde, H atomlarının iki 1s orbitalinin iki molekül orbitalini oluşturması Şekil 11-21 de özetlenmiştir.

▶ Molekül orbital kuramına göre oluşan molekül orbitallerinin sayısı, etkileşen atom orbitallerinin sayısına eşittir.

Molekül Orbitalleri İle İlgili Temel Kavramlar

Burada, molekül orbitalleri ve elektronların bu orbitallere nasıl yerleştirileceğine ilişkin bazı yararlı bilgiler verilecektir.

1. Oluşan molekül orbitallerinin (MO) sayısı, birleşen atom orbitallerinin sayısına eşittir.
2. İki atom orbitali birleştiğinde (karışıp kaynaştığında) oluşan iki molekül orbitalinden biri, başlangıçtaki atom orbitallerinden *daha düşük* enerjili *bağlayıcı* MO dir. Diğeri ise *daha yüksek* enerjili bir *karşıt bağlayıcı* MO dir.



▲ ŞEKİL 11-21
İki hidrojen atomunun molekül orbital kuramına göre etkileşmesi
σ_{1s} bağlayıcı molekül orbitalinin enerjisi 1s atom orbitallerinden daha düşüktür, σ^*_{1s} karşıt bağlayıcı molekül orbitalininki ise daha yüksektir. Bağlayıcı molekül orbitalinde elektron yük yoğunluğu çekirdekler arası bölgede, karşıt bağlayıcı molekül orbitalinde ise molekülün çekirdekler arası bölgesinden uzaktaki kısımlarında yüksektir.

3. Temel halde elektronlar normal olarak en düşük enerjili MO lere girerler.
4. Bir MO deki maksimum elektron sayısı ikidir (Pauli dışlama ilkesi, sayfa 339).
5. Temel halde elektronlar, aynı enerjili MO lere eşleşmeden, önce *tek tek* girerler (Hund kuralı, sayfa 339).

Eğer bir molekül kararlı ise, bağlayıcı orbitallerindeki elektron sayısı karşıt bağlayıcı orbitallerindeki elektron sayısından çoktur. Örneğin, bağlayıcı elektronların sayısı, karşıt bağlayıcı elektronlardan *iki* fazla ise, bu Lewis kuramında bir *tekli* kovalent bağa karşılık gelir. Molekül orbital kuramında buna bağ derecesi 1 dir deriz. **Bağ derecesi**, bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı elektron (e^-) sayıları arasındaki farkın yarısıdır,

$$\text{bağ derecesi} = \frac{\text{bağlayıcı MO lerdeki } e^- \text{ sayısı} - \text{karşıt bağlayıcı MO lerdeki } e^- \text{ sayısı}}{2} \qquad (11.1)$$

UNUTMAYINIZ

(11.1) eşitliği sadece iki atomlu moleküller için geçerlidir.

Birinci Periyot Elementlerinin İki Atomlu Molekülleri

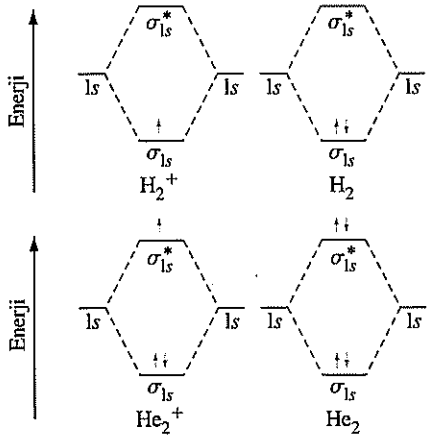
BirinÖ periyot elementleri olan H ve He un bazı molekül türleri için, verilen bilgileri nasıl kullanacağımızı görelim. Bunu yaparken Şekil 11-22 yi gözönünde bulunduralım.

H_2^+ Bu türün bir tek elektronu vardır ve bu elektron bağlayıcı molekül orbitali olan σ_{1s} orbitaline girecektir. (11.1) eşitliğinden bağ derecesinin $(1-0)/2 = 1/2$ olduğunu buluruz. Bu, bir elektrona, ya da *yarı* bağa eşdeğerdir. Böyle bir bağı Lewis kuramıyla açıklamak kolay değildir.

H_2 Bu molekülün iki elektronu olup, her ikisi de σ_{1s} orbitalindedir. Bağ derecesi = $(2-0)/2 = 1$ dir. H_2 de bulunan bağı hem Lewis kuramıyla, hem de değerlik bağ kuramıyla açıklayabiliriz.

He_2^+ Bu iyonun üç elektronu vardır. İkisi σ_{1s} orbitalinde, diğeri σ^*_{1s} orbitalindedir. Bağ derecesi $(2-1)/2 = 1/2$.

He_2 İki elektron σ_{1s} orbitalinde, iki elektron σ^*_{1s} orbitalindedir. Bağ derecesi $(2-2)/2 = 0$ olup hiçbir bağ oluşmaz. He_2 kararlı bir tür değildir.



▲ ŞEKİL 11-22
Birinci periyot elementlerinin iki atomlu molekül ve iyonlarının, molekül orbital diyagramları
Bağ yapmamış atomların 1s enerji düzeyleri, diyagramın solunda ve sağında gösterilmiştir. Ortadaki çizgiler molekül orbitali enerji düzeylerini gösterir. 1s den daha düşük düzeyler σ_{1s} daha yüksek düzeyler σ^*_{1s} dir.

ÖRNEK 11-5 Bağ Enerjisi ile Bağ Derecesinin İlişkisi

H_2 molekülünün bağ enerjisi 436 kJ/mol dür. H_2^+ ve He_2^+ nın bağ enerjilerini öngörünüz.

Analiz

Bir bağın kuvveti, doğrudan bağ dercesi ile orantılıdır. Bağ derecesi iki katına çıkarsa bağ kuvveti de yaklaşık iki kat artar.

Çözüm

H_2 nin bağ derecesi 1 dir ve bir tekli bağa eşdeğerdir. Hem H_2^+ ve hem de He_2^+ için bağ derecesi 1/2 dir. Biz, bu iki türdeki bağların kuvvetinin H_2 dekinin yarısına eşit olmasını, yaklaşık 220 kJ/mol olmasını beklemeliyiz.

Değerlendirme

(Gerçek değerler H_2^+, 255 J/mol; He_2^+, 251 kJ/mol.) Bu değerler yaklaşımın kabul edilebilir olduğunu gösterir.

ALIŞTIRMA A: Li_2 nin bağ enerjisi 106 kJ/mol dür. Li_2^+ bağ enerjisini tahmin ediniz.

ALIŞTIRMA B: H_2^- iyonunun kararlı olduğunu düşünür müsünüz? Açıklayınız.

11-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Temel halde H_2 molekülü elektromanyetik ışınımı soğurarak H_2^+ iyonunu oluşturabilir ya da bir elektronu σ_{1s}^* orbitaline uyarabilir. Hangi işlem için daha fazla enerji gerekir? Hangisi daha kararlıdır?

İkinci Periyot Elementlerinin Molekül Orbitalleri

H ve He un iki atomlu molekül ve iyonlarını yazarken yalnızca 1*s* orbitallerini birleştirdik. İkinÖ periyotta durum daha ilginçtir. Çünkü hem 2*s* hem de 2*p* orbitalleri vardır. Bu, *sekiz* molekül orbitali demektir.

▶ Şekil 11-23 de, olasılık-yoğunluk grafiklerinden ziyade basitleştirilmiş *p* orbitalleri kullanıldı; çünkü vurgulamak istediğimiz nokta birleşen orbitallerin fazlarıdır.

2*s* orbitallerinin kaynaşmasıyla oluşan molekül orbitalleri, 1*s* orbitallerinden oluşanlara benzerler, ancak onlardan daha yüksek enerjilidirler. Buna karşın, 2*p* atom orbitallerinin kaynaşmasında durum farklıdır. 2*p* atom orbitalleri molekül orbitallerini oluştururken uç-uça ve yandan olmak üzere iki şekilde örtüşürler. Bu örtüşme biçimleri Şekil 11-23 de görülmektedir. *p* orbitallerinin en iyi örtüşmesi, düz bir çizgi boyunca olan, diğer bir deyişle, uç-uca örtüşmesidir. Bu kaynaşma, σ tipinde molekül orbitalleri meydana getirir, yani, σ_{2p} ve σ^*_{2p}. Çekirdekler arası eksen boyunca bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı birleşmelerde 2*p* orbitallerinin fazları göz önüne alınmalıdır. Şekil 11-23(a) da gösterildiği gibi, atom orbitalleri her fonksiyonun pozitif lobu (mavi) çekirdekler arası bölgede yer alacak şekilde yerleştirilmelidir. Bu şekilde, dalga fonksiyonları aynı fazda olacağından iki dalga fonksiyonunun toplanması çekirdekler arası bölgede bir elektron yoğunluğu artışına neden olur ve böylece bir σ_{2p} orbitali meydana gelir. Şekil 11-23(b) deki gibi, atom orbitalleri, zıt fazları çekirdekler arası bölgeye doğru gelecek şekilde yönlenirse, çekirdekler arasında bir düğüm düzlemi oluşur, bu da bir karşıt bağlayıcı σ^*_{2p} orbitalini meydana getirir.

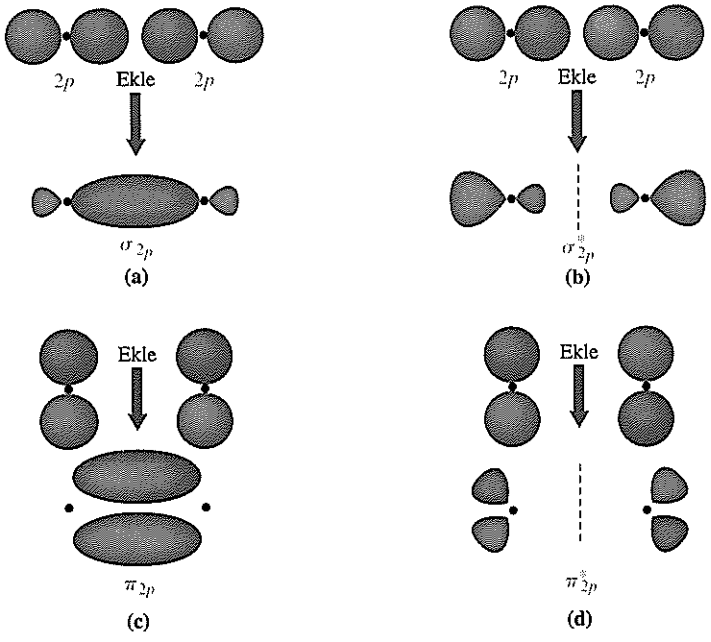
UNUTMAYINIZ

Bu şekillerde orbitallerin farklı renkli bölgeleri orbital fazlarını gösterir.

UNUTMAYINIZ

Aynı fazda olan iki dalga fonksiyonunun çıkarılması, aynı fonksiyonlar zıt fazlarda olduğunda *toplanmasıyla* eşdeğerdir.

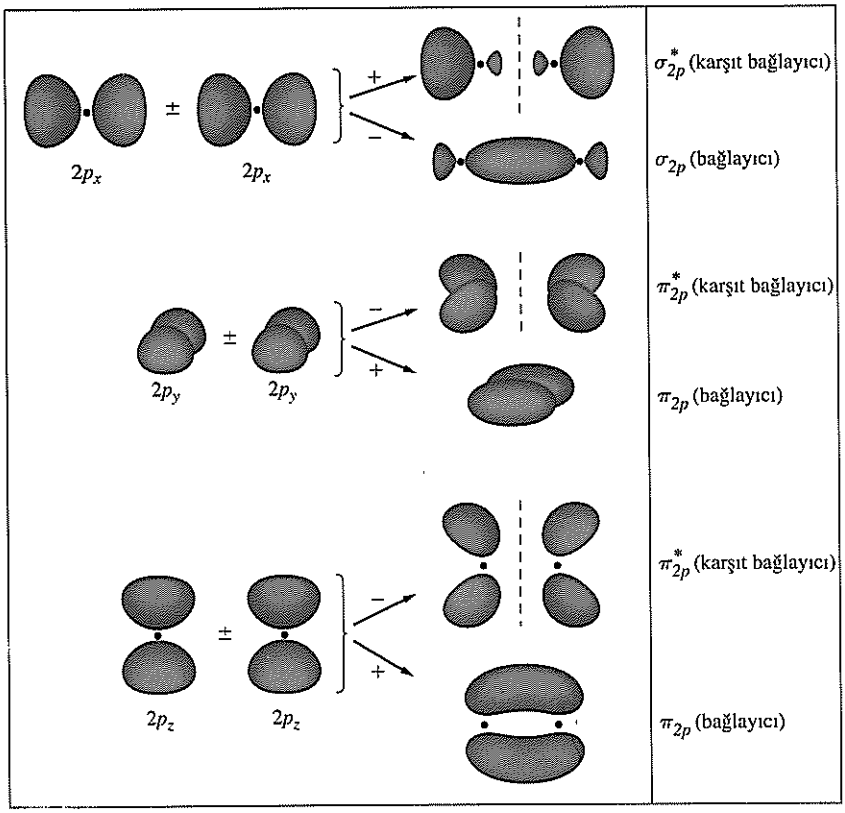
p orbitallerinin sadece bir çifti uç-uca örtüşebilir. Diğer iki çift paralel ya da π tipi molekül orbitali oluşturmak üzere yandan örtüşmelidir, yani, π_{2p} ve π^*_{2p}. Bir çift 2*p* orbitalinin yandan örtüşmesindeki iki olası yol Şekil 11-23 (c ve d) de gösterilmektedir. π_{2p} bağlayıcı orbital (Şekil 11-23c) bir çekirdek üzerindeki *p* orbitalinin diğer çekirdek üzerindeki *p* orbitaline katılmasıyla oluşur; bu şekilde bir orbitalin pozitif ve negatif lobları diğer çekirdeğin *p*



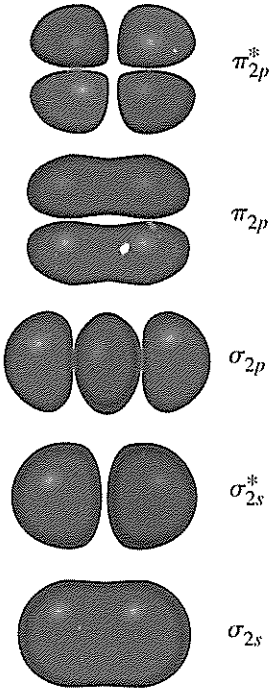
◀ FİGURE 11-23
2p orbitallerinden bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı orbitallerin oluşumu
(a) Çekirdekler arası eksen boyunca aynı fazda iki 2p orbitalinin σ_{2p} molekül orbitalini oluşturmak üzere toplanması. Bu orbital çekirdekler arasında elektron yoğunluğu oluşturur ve kimyasal bağ meydana gelir. **(b)** Aynı fazda olmayan iki 2p orbitalinin σ^*_{2p} karşıt bağlayıcı molekül orbitalini meydana getirmek üzere taplanması. Bu orbitalin, tüm karşıt bağlayıcı orbitallerde olduğu gibi çekirdekler arası eksene dik bir düğüm düzlemi vardır. **(c)** Çekirdekler arası eksene dik aynı fazda olan iki 2p orbitalinin π_{2p} mülekül orbitalini meydana getirmek üzere toplanması. Bu orbital çekirdekler arası elektron yoğunluğu oluşturur ve katlı kimyasal bağ meydana gelir. **(d)** Aynı fazda olmayan iki 2p orbitalinin π^*_{2p} karşıt bağlayıcı molekül orbitalini meydana getirmek üzere toplanması. Bu orbitalin, tüm karşıt bağlayıcı orbitallerde olduğu gibi çekirdekler arası eksene dik bir düğüm düzlemi vardır.

orbatilinin pozitif ve negatif lobları ile aynı fazdadır. Bu, çekirdekler arasında ek bir elektron yoğunluğu oluşturur, fakat bu yoğunluk σ orbitalininkinden çok daha azdır. Çünkü ek elektron yoğunluğu çekirdekler arası eksen boyunca yoktur. Bundan dalayı π bağı σ bağından daha zayıftır. π^*_{2p} karşıt bağlayıcı orbital ise çekirdekler arası eksene göre dik olan iki p orbitalinin çıkarılmasıyla oluşur (Şekil 11- 23(d)). Bu durumda, çekirdekleri içeren bir düğüm düzlemine ek olarak çekirdekler arasında bir düğüm daha oluşur, bu karşıt bağlayıcı karakterin bir özelliğidir. Gerçekte, *dört* π-tipi molekül orbitali vardır (iki bağlayıcı, iki de karşıt bağlayıcı olmak üzere). Çünkü 2p atom orbitallerinin *iki* çifti paralel şekilde yönlenir. Şekil 11-24, yakla-

◀ Pozitif lobun keyfi olarak mavi ile gösterildiğine dikat ediniz. Önemli olan bağlayıcı molekül orbitali için orbitallerin aynı fazda olmasıdır.



◀ ŞEKİL 11-24
2p atom orbitallerinin birleşmesi
Bu diyagramlar çeşitli orbitallerin elektron yük dağılımlarını gösterir. Tüm ayrıntılar verilmemiştir. Karşıt bağlayıcı orbitallerin düğüm düzlemleri kesik çizgilerle gösterilmiştir.



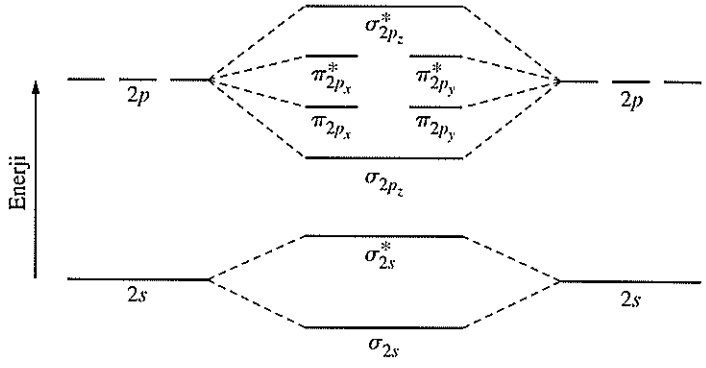
F_2 nin hesaplanan bazı molekül orbitalleri

şık olasılık dağılımlarına göre Şekil 11-23'de tanımlanan orbital etkileşimlerine dayalı olarak çizilmiştir. Bağlayıcı molekül orbitallerinin, atom çekirdekleri arasında yüksek bir elektron yoğunluğuna sahip olduğunu görüyoruz. Karşıt bağlayıcı molekül orbitallerinde ise çekirdekler arasında düğüm düzlemleri vardır ve buralarda elektron yük yoğunluğu sıfıra düşer.

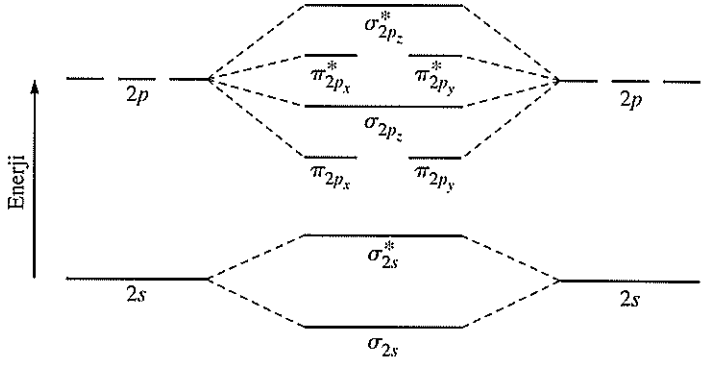
İkinÖ ana kuant tabakasındaki atom orbitallerinden oluşan molekül orbitallerinin enerji düzeyi diyagramları, atom orbitali enerji düzeyleriyle yakından ilgilidir. Örneğin, 2*s* orbitallerinden oluşan molekül orbitalleri, 2*p* orbitallerinden oluşanlardan daha düşük enerjilidirler. Aynı ilişki 2*s* ve 2*p* atom orbitalleri arasında da vardır. Diğer bir beklenti, σ-tipi bağ yapan orbitallerin, π-tipindekilerden daha düşük enerjili olmasıdır. Çünkü 2*p* orbitallerinin uç-uca örtüşmesi yandan örtüşmesinden daha fazladır ve bu da daha düşük enerjili bir bağ verir. Bu sıralama Şekil 11-25(a) da gösterilmiştir. Bu enerji düzeyi diyagramını oluştururken *s* orbitallerinin yalnızca *s* orbitalleriyle, *p* orbitallerinin de sadece *p* orbitalleriyle karıştığını varsaydık. Ancak, bu varsayımı bazı iki atomlu moleküllere uygularsak, deneysel sonuçlarla uyuşmayan sonuçlar ortaya çıkar.

2*s* ve 2*p* orbitallerinin her ikisinin de çekirdekler arasında aynı bölgede elektron yoğunluğunu oluşturan molekül orbitallerini (σ_{2s} ve σ_{2p}) meydana getirdiğini de göz önünde bulundurmalıyız. Bu iki σ orbitali benzer enerjiye ve biçime sahiptirler ve biraz değişmiş σ orbitallerini oluşturmak üzere karışırlar. Değişmiş σ orbitalleri başlangıçtaki σ_{2s} ve σ_{2p} orbitallerinin bir kısmını içerirler. Değişmiş σ_{2s} nin (biraz σ_{2p} ile karışınca) enerjisi biraz azalır, değişmiş σ_{2p} orbitallerinin (bir miktar σ_{2s} ile karışınca) enerjisi biraz artar ve farklı bir enerji düzeyi sıralaması oluşur. Bu karışmanın önemli yönü, değişmiş σ_{2p} nin enerjisinin π_{2p} orbitallerinin üzerine çıkmasıdır (Şekil 11-25b).

O_2 ve F_2 de molekül orbitalleri için durum beklendiği gibidir. Çünkü 2*s* ve 2*p* orbitalleri arasındaki enerji farkı büyüktür ve dolayısıyla karışan

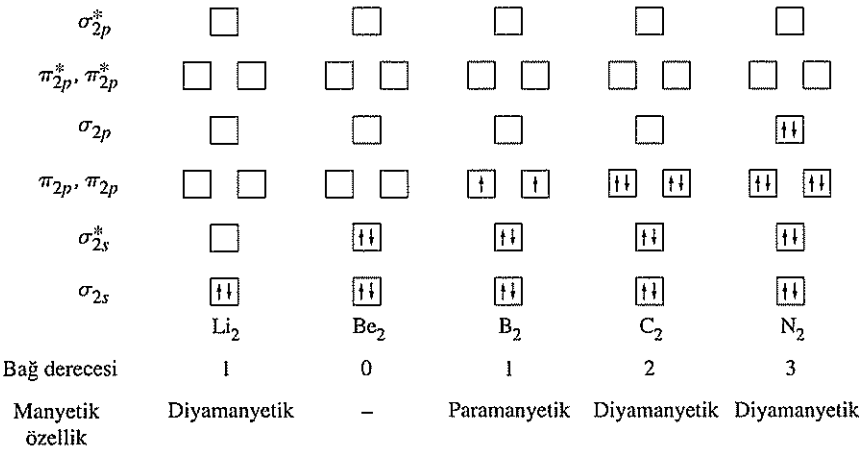


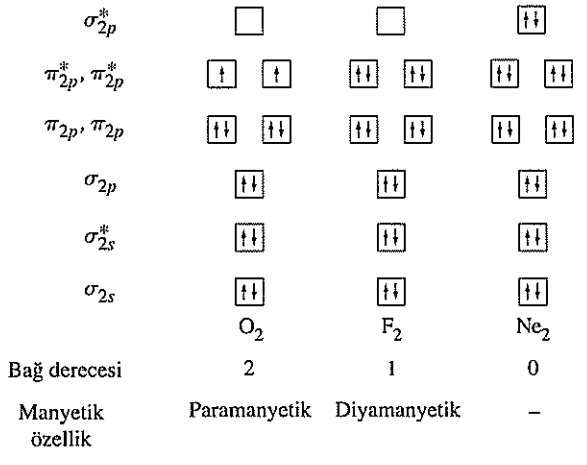
(a) $Z \geq 8$



(b) $Z \leq 7$

▶ ŞEKİL 11-25
İkinci periyot elementlerinin iki atomlu molekülleri için iki olası molekül orbitali enerji-düzeyi diyagramı
(a) σ_{2p} orbitalinin π_{2p} nin altında olduğunda beklenen sıralama. Bu $Z \geq 8$ olan elementler içindir. **(b)** σ_{2p} orbitalinin π_{2p} nin üzerinde olduğu *s* ve *p* orbitallerinin karışmasıyla oluşan sıralama. Bu sıralama $Z \leq 7$ olan elementler içindir.





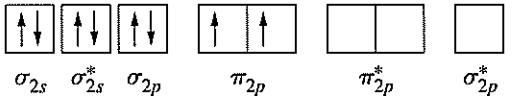
◀ ŞEKİL 11-26
İkinci periyot elementlerinin eşçekirdekli iki atomlu moleküllerinin molekül orbital diyagramları
Hepsinde σ_{1s} ve σ^*_{1s} molekül orbitalleri doldurulmuştur, fakat bunlar gösterilmemiştir.

s ve *p* miktarı az olur. Bundan dolayı σ_{2s} ve σ_{2p} orbitalleri yukarıda açıklandığı gibi değişikliğe uğramamıştır. İkinÖ periyot elementlerinin diğer iki atomlu molekülleri için (örneğin, C_2 ve N_2) ise; π_{2p} orbitalleri σ_{2p} den daha düşük enerjilidir; çünkü 2*s* ve 2*p* orbitalleri arasındaki enerji farkı azdır ve 2*s*-2*p* orbital etkileşmesi, karışan orbitalleri de aynı şekilde etkiler. Bu da, yukarıda tanımlanan değişikliğe uğramış σ_{2s} ve σ_{2p} orbitallerinin oluşumuna yol açar.

İkinÖ periyot elementlerinin diatomik moleküllerinin, molekül orbitallerine elektronları nasıl yerleştireceğiz? σ_{1s} ve σ^*_{1s} orbitallerini doldurarak başlayalım. Sonra, elektronları, ikinÖ ana kabuğun uygun molekül orbitallerine, artan enerji sırasıyla ekleyelim. Şekil 11-26 ikinÖ periyot elementlerinin eş çekirdekli iki atomlu moleküllerinin (X_2) elektron düzenlerini göstermektedir. Bazı molekül özellikleri de şekilde yer almaktadır.

◀ Aynı çekirdekli iki atomlu molekül (X_2) *eşçekirdeklidir*. İki atom farklı ise (XY) bunlar *ayrı çekirdeklidir*.

İki atomlu bir molekülün ikinÖ kabuk molekül orbitallerini de tıpkı bir atomun değerlik kabuğundaki elektronları yerleştirdiğimiz gibi, artan enerji sıralamasına göre düzenleyebiliriz. Sonra bu orbitallere elektronları yerleştirerek bir *molekül orbital diyagramı* oluşturabiliriz. C_2 molekülünün sekiz değerlik elektronunu Şekil 11-25(a) daki diyagrama göre yerleştirirsek, şu diyagramı elde ederiz.

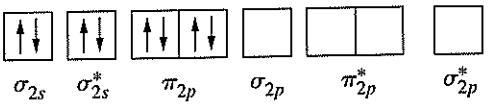


UNUTMAYINIZ
Hund kuralı atomlara olduğu gibi moleküllere de uygulanır.

Deneyler C_2 molekülünün paramanyetik değil, diyamanyetik olduğunu göstermiştir. Buna göre, bu dağılım *doğru değildir*. Öyleyse burada

▶ Bir atom ve iki atomlu bir molekül için bir orbital diyagramı yazdığımız gibi, elektron dağılımlarını da yazabiliriz. C_2 nin temel hali için (1s orbitallerinden oluşan σ orbitalleri atlayarak) $\sigma_{2s}^2\sigma_{2s}^{*2}\pi_{2p}^4$ yazabiliriz.

Şekil 11-25(b) deki değişikliğe uğramış enerji düzeyi diyagramının önemini göreceğiz. Sekiz elektronun aşağıdaki molekül orbitaline yerleştirilmesi, C_2 nin diyamanyetik olması gözlemiyle uyumludur.

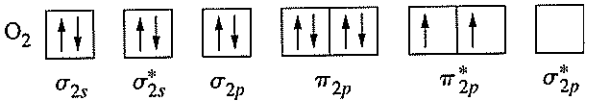


Bu değişikliğe uğramış enerji-düzeyi diyagramı, atom numarası üç ile yedi arasındaki elementleri içeren eş çekirdekli iki atomlu moleküller için kullanılır.

O_2 ye Özel Bir Bakış

▶ Molekül orbital diyagramı yazmak yerine, O_2 nin temel hal elektron dağılımını $\sigma_{2s}^2\sigma_{2s}^{*2}\sigma_{2p}^2\pi_{2p}^4\pi_{2p}^{*2}$ şeklinde de yazabiliriz. Bir molekülün elektron dağılımını yazarken, bir atomunkini yazarken izlediğimiz yolu takip edeceğiz.

Molekül orbital kuramı, O_2 molekülünün daha önce belirttiğimiz açıklanamayan bazı yönlerini anlamamıza yardımcı olur. Her O atomu iki atomlu moleküle, O_2, altı değerlik elektronu getirir. Aşağıdaki diyagramda görüldüğü gibi, 12 değerlik elektronunu molekül orbitallerine yerleştirdiğimizde, molekülün *iki tane eşleşmemiş elektronu* olur. Buna göre, O_2 nin *paramanyetik* olması gerekir (bakınız sayfa 401). Bağlayıcı orbitallerdeki değerlik elektronları sayısı sekiz, karşıt bağlayıcı orbitallerdekilerin sayısı ise dörttür. Buna göre, bağ derecesi 2 dir ve O_2 de ikili kovalent bağa karşılıktır. Bu durum, aşağıdaki molekül orbital diyagramında özetlenmiştir.



(11.2)

ÖRNEK 11-6 Molekül Orbital Diyagramının Yazılması ve Bağ Derecesinin Belirlenmesi

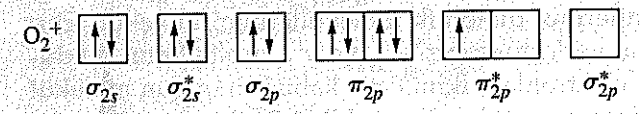
O_2^+ daki bağ oluşumunu molekül orbital diyagramı ile gösteriniz ve bağ derecesini belirleyiniz.

Analiz

O_2^+ iyonunda 11 değerlik elektronu vardır. Bu elektronları sayfa 466 da belirtilen kurallara uyarak uygun molekül orbitallerine yerleştirebiliriz. Ya da eşitlik (11-2) de verilen molekül orbital diyagramındaki bir orbitalden bir elektron uzaklaştırabiliriz.

Çözüm

Aşağıdaki diyagramda bağlayıcı molekül orbitallerinde bulunan elektronlardan karşıt bağlayıcı MO'lerdeki elektronları çıkarırsak *beş* elektron kalır. Öyleyse bağ derecesi 2,5 dir.



Değerlendirme

O_2^+ nin elektron dağılımı $\sigma^2{}_{2s}\sigma^{*2}{}_{2s}\sigma^2{}_{2p}\pi^4{}_{2p}\pi^{*1}{}_{2p}$ dir. Bu iki atomlu molekülde 2*s*-2*p* karışması olmayan molekül orbitali kullanıldı; çünkü oksijende 2*s*-2*p* ayrımı büyüktür.

ALIŞTIRMA A: Şekil 11-26 yı kullanarak, **(a)** N_2^+; **(b)** Ne_2^+; **(c)** C_2^{2-} için molekül orbital diyagramı yazınız, bağ derecelerini belirtiniz ve elektron dağılımını gösteriniz.

ALIŞTIRMA B: O_2^+, O_2, O_2^- ve O_2^{2-} için bağ uzunlukları sırasıyla 112, 121, 128 ve 149 pm dir. Bu bağ uzunlukları, molekül orbital diyagramından belirlenen bağ dereceleriyle uyumlu mudur? Açıklayınız.

11-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Değerlik bağ kuramında, π bağları her zaman bir σ bağını takip eder. İki atomlu moleküllerin molekül orbitali kuramında da aynı şey söylenebilir mi?

Eş Çekirdekli Olmayan İki Atomlu Moleküllere Bir Bakış

Eş çekirdekli iki atomlu türler için geliştirdiğimiz kavramlar, bazı durumları gözeterek, eş çekirdekli olmayan türlerin bağlanmasına da uygulanabilir. Eş çekirdekli olmayan iki atomlu bir molekülün molekül orbital diyagramının nasıl oluşturulacağını göstermek için karbon monoksit (CO) molekülünü ele alalım. İlk yapılacak iş, periyot boyunca Z_{et} değerinin nasıl değiştiğine ilişkin bilgilerimize dayanarak, 2*s*-2*p* karışmasının olup olmadığına karar vermektir. Karbonun Z_{et} değeri, oksijenden çok daha düşüktür; bu yüzden karbonun 2*s* ve 2*p* orbitalleri, oksijeninkinden daha yüksek enerjilidir. Bunun anlamı, molekül orbitallerine her atomun eşit katkıda bulunmayacağıdır (bunu daha sonra ayrıntılı bir şekilde tartışacağız). Ayrıca, karbonda 2*s*-2*p* ayrılması oksijenden çok daha düşük olduğundan σ orbitallerinde 2*s*-2*p* karışması bekleriz.

CO in molekül orbitalleri Şekil 11-27 de gösterilmiştir. 2*s* ve 2*p* orbitallerinin karışmasının bir sonucu olarak, üçüncü σ orbitalinin, (3σ) enerjisi π_{2p} orbitallerininkinden daha büyüktür. Bu nedenle *en yüksek dolu molekül orbitali* (HOMO) 3σ dır. Şekil 11-27 karbon ve oksijenin atom orbitallerinin 3σ ya da diğer σ orbitallerine yaptığı katkıları tek tek göstermez. σ molekül orbitallerini görünür hale getirmek (hayalimizde canlandırmak) için kuantum mekaniği hesaplama sonuçlarını kullanmalıyız. Böyle hesaplamaların sonuçları Şekil 11-27 de gösterilmektedir. Burada iki ilginç özellik vardır. BirinÖsi, HOMO(3σ), oksijenin 2*s* orbitali ile baskılanır ve esas olarak bağlayıcı olmayan orbitaldir. Bir *bağlayıcı olmayan molekül orbitali,* oluştuğu atom orbitalleri ile aynı enerjiye sahiptir ve bağ oluşumuna pozitif ya da negatif yönde bir katkısı yoktur. CO daki bağ oluşumu, 2*s* orbitalindeki iki elektrondan ve yozlaşmış 1π orbitalindeki iki elektron çiftinden gelir, bunların bağ derecesi 3 olur. CO'in elektron dağılımı (1*s* orbitalleri ihmal edilerek) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$1\sigma^2 2\sigma^2 1\pi^4 3\sigma^2$$

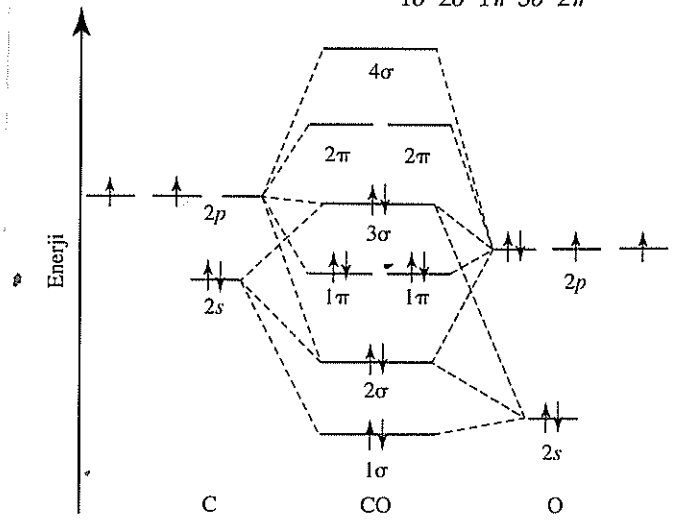
Burada yukarıda gösterildiği gibi 2*s* ve 2*p* karışmasından dolayı σ_{2s} gibi bir gösterim kullanmadık. Yaklaştırma yaparak bu gösterimi kullanırsak elektron dağılımını şöyle yazabiliriz:

$$\sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} 1\pi^4 \sigma_{2p}^2$$

Bu gösterimde de bağ derecesi 3 tür, fakat kimyasal bağlanmanın kaynağına atıf yanlıştır. Bunu akılda tutarak, bağ derecesini belirlemek için hala bu yaklaşımı kullanabiliriz. Serbest radikal NO'i göz önüne alırsak fazla elektron 2π orbitalindedir, bu yüzden elektron dağılımı şöyledir:

$$1\sigma^2 2\sigma^2 1\pi^4 3\sigma^2 2\pi^1$$

◀ CO'nun orbital yapısını incelemek için www.masteringchemistry.com internet sitesindeki Bölüm 11 Fotoelektron Spektroskopisine bakınız.



◀ ŞEKİL 11-27
CO'nun molekül orbital diyagramı
CO 'nun molekül orbitallerinin Şekil 11-25(b) deki molekül orbitalleriyle aynı sıralamaya sahip olduğuna dikkat ediniz. CO'nun σ orbitalleri (1σ, 2σ, 3σ ve 4σ) C ve O den 2*s* ve 2*p* orbitallerinin karışımıdır.

ÖRNEK 11-7 Eş Çekirdekli Olmayan İki Atomlu Moleküllerin Elektron Dağılımları

CN^- anyonu için bir molekül orbital diyagramı yazınız ve bu iyondaki bağ derecesini belirleyiniz.

Analiz

CN^- iyonu CO ile izoelektronik yani eş elektronludur. Her iki elementin de düşük bir $2s$-$2p$ aralığı vardır. Bu nedenle, $2s$-$2p$ karışması bekleriz. 3σ orbitalinin enerjisi 1π orbitallerinin enerjisinden daha yüksektir.

Çözüm

Molekül orbital diyagramına yerleştirilecek değerlik elektronlarının sayısı $10(4 + 5 + 1)$ dir. $2s$-$2p$ karışmasından dolayı değişikliğe uğramış bir molekül orbitali enerji-düzeyi diyagramı kullanmamız gerekir ve CN^- iyonunun elektron dağılımı:

$$1\sigma^2 2\sigma^2 1\pi^4 3\sigma^2$$

ya da

$$\sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} 1\pi^4 \sigma_{2p}^2$$

yazılabilir, buradan bağ derecesi $(2 + 4 + 2 - 2)/2 = 3$ olarak bulunur.

Değerlendirme

İzoelektronik molekül CO daki gibi, CN^- anyonunda da bağ derecesi 3 tür. Lewis yapısı, $[:C \equiv N:]^-$ da üçlü bağı öngörür.

ALIŞTIRMA A: CN^+ için molekül orbital diyagramını yazınız ve bağ derecesini belirleyiniz.

ALIŞTIRMA B: BN için molekül orbital diyagramını yazınız ve bağ derecesini belirleyiniz.

11-7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

NeO 'nun kararlı bir molekül olmasını bekler misiniz?

11-6 Delokalize Elektronlar: Benzen Molekülünde Bağlanma

▶ "Aromatik" terimi, bu bileşiklerden bazılarının (hepsinin değil) kokulu olduğunu belirtir.

Kesim 11-4 de gördüğümüz etilende (C_2H_4) lokalize π bağlarını inceledik. C_6H_6 gibi bazı aromatik moleküllerin π bağı örgüsü vardır. Benzen ve benzer bileşikler aromatik π örgüsüne sahiptirler. Benzendeki bağ oluşumunu da şimdiye değin gördüğümüz bağ kuramlarına göre ele alacağız. Buradan çıkaracağımız sonuçlar, başka bağlanmaları anlamamızıda kolaylaştıracaktır.

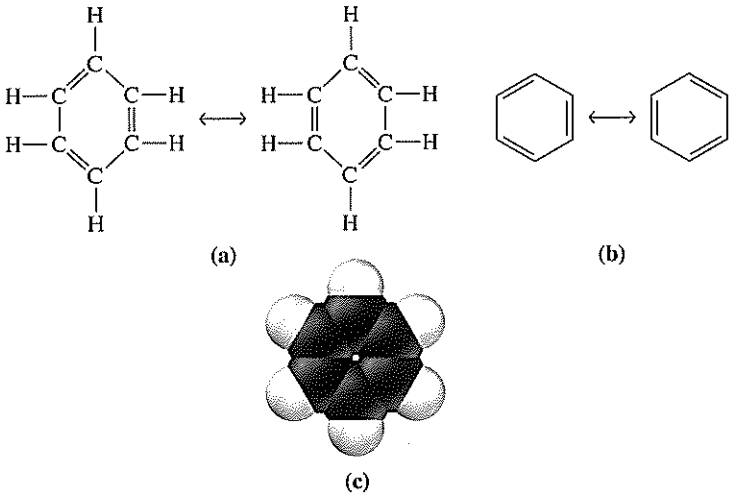


▲ Kathleen Londsdale benzenin X-ışını kristal yapısını ilk kez belirlemiştir. Onun yaptığı deneyler kuramcıların öngördüğü gibi benzenin düzlemsel olduğunu göstermiştir.

Benzende Bağlanma

1865 yılında, Friedrich Kekulé benzenin yapısıyla ilgili ilk doğru önerileri ortaya atarak, C_6H_6 molekülünün altı karbonlu, düzlemsel bir halka oluşturduğunu ve halkadaki bu altı karbonun ardışık tekli ve ikili kovalent bağlarla bağlanmış bulunduğunu ileri sürdü. Buna göre, her C atomu, iki C ve bir H atomuna bağlıydı. Karbon-karbon bağlarının hepsinin eşdeğer olduğu gerçeğini açıklamak için, Kekulé, tekli ve ikili bağların bir konumdan diğerine sürekli olarak salınım yaptığını söyledi. Bugün iki olası Kekulé yapısının, gerçekte bir rezonans melezine katkıda bulunan yapılar olduğunu biliyoruz. Bu durum, Şekil 11-28 de gösterilmiştir.

Benzendeki bağlanmayı, değerlik-bağ ve molekül orbitali kuramlarını bileştirerek daha iyi anlayabiliriz. Her karbon atomunun sp^2 melezleşmesi yaptığını kabul ederek bağ açılarının 120° olduğu, *düzlemsel* yapıya uygun



(a) (b) (c)

◀ ŞEKİL 11-28
Benzen molekülünde rezonans ve Kekulé yapıları
(a) Karbon-karbon tek ve çift bağlarının değişimini gösteren C_6H_6 molekülünün Lewis yapısı. **(b)** Benzenin iki eşdeğer Kekulé yapısı. Altıgenin her köşesinde bir karbon atomu ve her C atomuna bağlı bir hidrojen atomu vardır. (Bu yapılarda çoğu zaman olduğu gibi C — H bağları ile C ve H simgeleri, gösterilmemiştir). **(c)** Uzay-dolgu modeli.

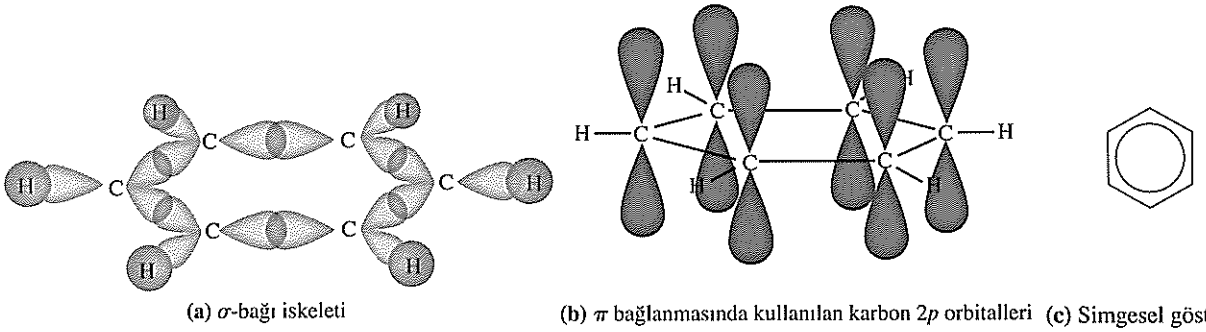
bir σ bağı iskeleti kurabiliriz. sp^2 orbitallerinin uçuca örtüşmesi σ bağlarını meydana getirir. $2p$ orbitallerinin yandan örtüşmesi ise üç π bağı verir. Şekil 11-29 değerlik-bağ kuramına göre C_6H_6 molekülünde bağ oluşumunu vermektedir.

Benzen için, iki Kekulé yapısı arasında bir salınımdan ya da rezonans melezi terimlerinden söz etmemize bile gerek yoktur. Görüldüğü gibi, π bağları belirli C tomları arasında lokalize değil, altı üyeli tüm halkanın etrafına yayılmıştır. Benzenin simgesi, bu altı *delokalize* π bağını göstermek için, içinde bir daire olan altıgen şeklinde yazılabilir (Şekil 11-29c).

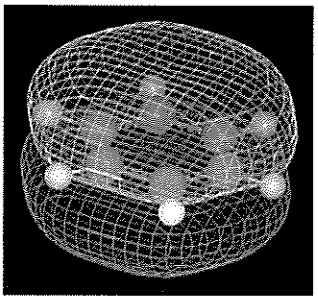
Delokalize π bağlarını en iyi molekül orbital kuramı ile açıklayabiliriz. C atomlarının altı tane $2p$ atom orbitali (Şekil 11-29b), altı tane π molekül orbitali oluşturmak üzere birleşir. Bu π molekül orbitallerinden üçü bağlayıcı, üçü de karşıt bağlayıcı orbitallerdedir. Bu molekül orbitalleri neye benzemektedir? Orbitallerin enerjileri arttıkça düğüm sayılarının da artacağını yinelersek, en düşük enerjili π molekül orbitalinin düğüm içermemesini bekleriz ve bu gerçekten de böyledir (Şekil 11-30a). Altı tane $2p$ orbitalinin hepsi görüldüğü gibi aynı fazdadır; tüm mavi kısımlar σ iskeletinin aynı tarafındadır. Sonra gelen iki π molekül orbitalinin her birinin bir düğümü vardır (Şekil 11-30a'da kesikli çizgi). Sonuçta her ikisinin de enerjileri aynıdır; yani yozlaşmıştır (Şekil 11-30b). Bundan sonra gelen orbital çiftinin, ki bunlar karşıt bağlayıcı π orbitalleridir, iki düğümü, son orbitalin ise üç düğümü vardır (Şekil 11-30a). Benzenin hesaplanan π molekül orbitalleri de Şekil 11-30(c) de gösterilmektedir.

Üç bağlayıcı orbital altı elektronla (her C atomundan bir $2p$ elektronu) dolar, üç karşıt bağlayıcı orbital ise boş kalır. π-bağı molekül orbitallerinde bağ derecesi $(6-0)/2 = 3$ tür. Üç bağ altı C atomuna dağılmıştır ve her C atomu başına $(3/6) = 1/2$ bağ düşer. σ-bağı iskeletindeki σ bağlarını da buna eklersek, her karbon- karbon bağı için bağ derecesi 1,5 dur. Bu, Şekil 11-28 deki iki Kekulé yapısının tam ortalamasıdır.

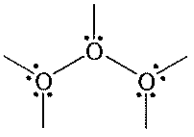
▼ ŞEKİL 11-29
Benzende (C_6H_6) değerlik bağ kuramına göre bağ oluşumu
(a) Karbon atomları sp^2 ve p orbitallerini kullanır. Her karbon atomu, ikisi altılı halkada komşu atomlarla, üçüncüsü de bir H atomuyla olmak üzere, üç σ bağı yapar. **(b)** Benzenin karbon atomlarında melezleşmemiş $2p$ orbitalleri, delokalize π bağlarını oluştururlar. **(c)** π bağlanması benzen halkası boyunca delokalize olduğundan, molekül genellikle ortasında bir daire olan altıgen şeklinde gösterilir.



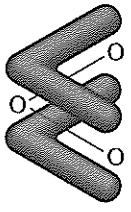
(a) σ-bağı iskeleti (b) π bağlanmasında kullanılan karbon $2p$ orbitalleri (c) Simgesel gösterim



▲ ŞEKİL 11-31
Benzendeki π bağlarının molekül orbital kuramına göre gösterimi
Benzen molekülünün bu modeli bilgisayarla oluşturulmuştur.

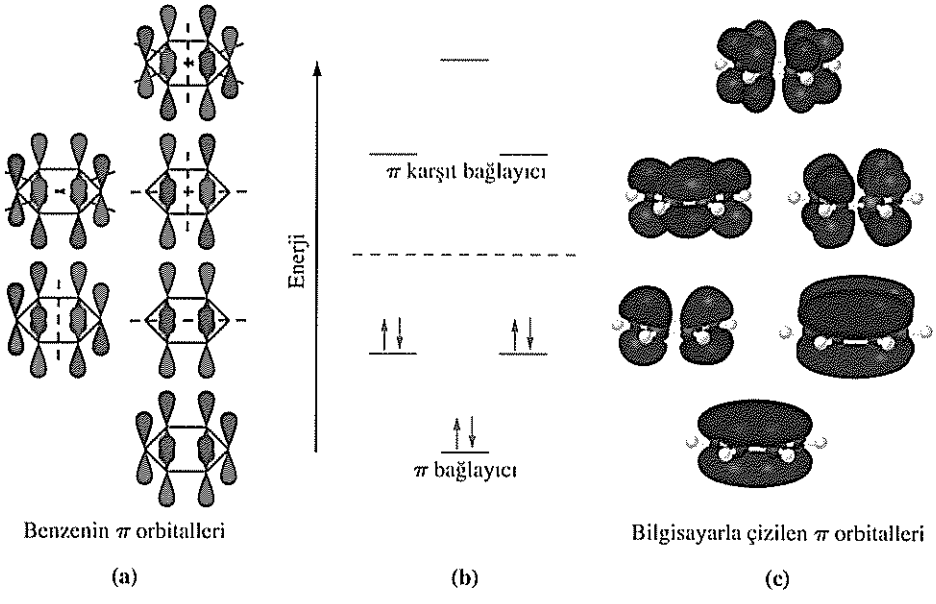


(a) σ-bağı iskeleti



(b) Delokalize π molekül orbitali

▲ ŞEKİL 11-32
Ozon, O_3, molekülünün yapısı
(a) σ bağ yapan elektron çiftleri (|) ve bağlayıcı olmayan elektron çiftleri (:), yandaki 1. ve 2. maddelerde belirtildiği üzere, sp^2 melez orbitallerine yerleşir. **(b)** π molekül orbitalleri ve elektronların bunlara yerleşmesi yandaki 3. ve 4. maddelerde anlatıldığı gibidir.

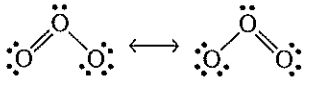


▲ ŞEKİL 11-30
C_6H_6 molekülünün π molekül orbitali diyagramı
Altı π molekül orbitalinin üçü bağlayıcı orbitallerdir ve birer elektron çifti ile doldurulur. Daha yüksek enerjili üç karşıt bağlayıcı orbital boş kalır.

Benzende bağlayıcı üç π molekül orbitali, molekülde π elektronının dağılımını gösterir. Bu orbitalleri, C ve H atomlarının oluşturduğu düzlemin altında ve üstünde, simit şeklinde iki bölge olarak düşünebiliriz. Çünkü bu π molekül orbitalleri C atomları arasında yoğunlaşmak yerine, altı C atomu üzerine yayılmıştır. Bu molekül orbitallerine **delokalize molekül orbitalleri** denir. Şekil 11-31 de benzen molekülünün delokalize molekül orbitalleri görülmektedir. Bu konunun başında yer alan benzenin elektrostatik potansiyel haritasında, benzen molekülünde düzlemin altında ve üstünde negatif yük yoğunluğu görülmektedir.

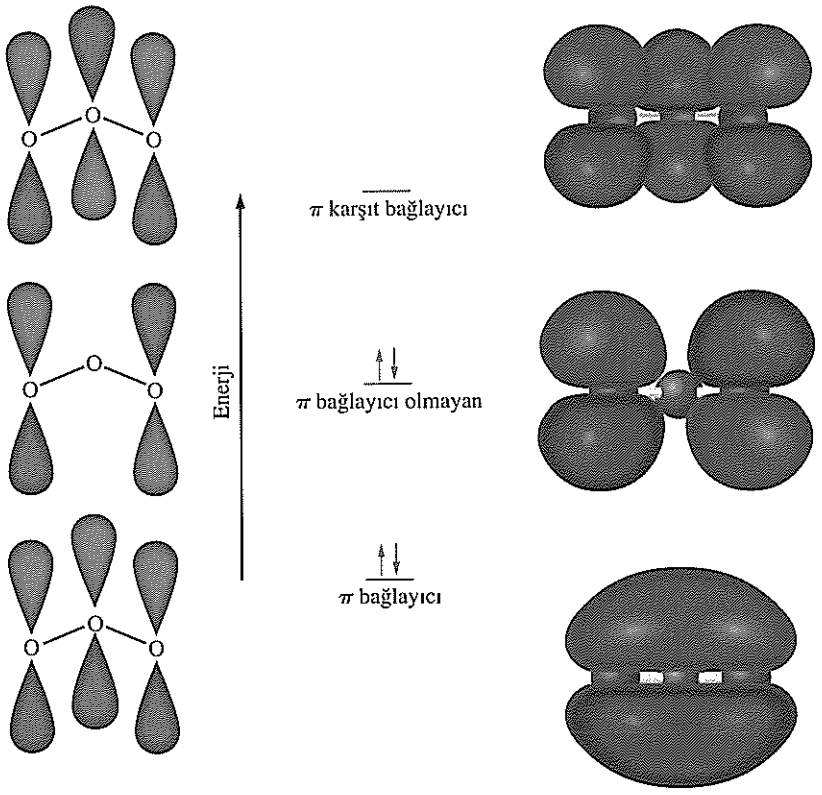
Delokalize Molekül Orbitali İçeren Diğer Yapılar

Delokalize bağ oluşumunu kullanarak, Lewis kuramında olduğu gibi, rezonans melezine katkıda bulunan iki ya da daha fazla rezonans yapılarını yazmaktan kurtulabiliriz. Kesim 11-5 de rezonans kavramını anlatırken ele aldığımız ozon molekülünü (O_3) göz önüne alınız. Bu molekül için, rezonans melezine katkıda bulunan aşağıdaki yapılar yerine, Şekil 11-32 de verilen tek bir yapıyı yazabiliriz.



Bizi Şekil 11–32'deki O_3 için bu tek yapıyı yazmaya yönlendiren düşünceler şunlardır:

1. VSEPR kuramından yararlanarak, O_3 için elektron grup geometrisinin üçgen düzlem olduğunu söyleyebiliriz (ölçülen bağ açısı 117° dir.) Merkez atom olarak seçilen oksijenin melezleşmesi sp^2 dir. Normalde uç atomlar melezleşmese de kolaylık olsun diye, uç O atomlarının da sp^2 melezleşmesi yaptıklarını varsayalım. Buna göre, her üç atom da $sp^2 + p$ orbital dizisini kullanacaktır.
2. O_3 da 18 değerlik elektronunun 14 ü σ bağı iskeletinin sp^2 melez orbitallerini doldururlar. Bunlardan dördü bağ yapan elektronlar (kırmızı), on tanesi ise ortaklanmamış elektron çiftleridir (mavi).



◀ ŞEKİL 11-33
Ozon (O_3) molekülünün, π bağlayıcı orbitalleri
π bağlayıcı molekül orbitalinde 2 orbitallerinin hepsi aynı fazdadır. π karşıt bağlayıcı molekül orbitalinde üç 2*p* orbitalinin hepsi faz dışıdır. π bağlayıcı olmayan molekül orbitalinin bir tek düğümü vardır ve merkez atomun dalga fonksiyonuna katkısı sıfırdır. Bu orbital, *bağlayıcı olmayan* orbital olarak adlandırılır; çünkü merkez atom ile komşuları arasında elektron yoğunluğu artışı yoktur. Bağlayıcı olmayan orbital, oksijen atomlarının 2*p* orbitalleriyle aynıdır; buna karşılık π bağlayıcı molekül orbitali orijinal orbitallere göre kararlıdır, π karşıt bağlayıcı molekül orbitali orijinal 2*p* orbitaline göre eşit miktarda kararsızdır. Enerji düzeyi diyagramı şeklin ortasında, bilgisayarda çizilmiş π molekül orbitalleri de sağda gösterilmiştir

3. Üç tane melezleşmemiş 2*p* orbitali, *üç* π molekül orbitali oluşturmak üzere birleşir (Şekil 11-33). Bu orbitallerden biri bağlayıcı molekül orbitali, ikinÖsi ise karşıt bağlayıcıdır. Üçüncüsü ise sayfa 473'de tanımladığımız bir *bağlayıcı olmayan molekül orbitali*dir. Bağlayıcı olmayan molekül orbitalinin enerjisi, oluştuğu atom orbitallerinin enerjisine eşittir ve bağ oluşumuna katılmaz.
4. Geriye kalan dört değerlik elektronu, π molekül orbitallerine yerleşir. İkisi bağlayıcı orbitale, diğer ikisi de bağlayıcı olmayan orbitale girer. Karşıt bağlayıcı orbital boş kalır.
5. π molekül orbitallerine göre bağ derecesi $(2-0)/2 = 1$ dir. Bu π bağı, O — O bağları arasına dağılır ve her biri için yarım π bağı oluşturur.

Yukarıda sıralanan maddeler bizi O_3 molekülündeki O — O bağlarının toplam bağ derecesinin 1,5 olduğu sonucuna götürür. Bu, iki Lewis yapısının ortalamasına eşdeğerdir. Bu şekilde önerilen O — O bağ uzunluğu, Kesim 10-5 de anlatılmıştır.

ÖRNEK 11-8 Atom Orbitali Diyagramları ile Delokalize Molekül Orbitallerinin Gösterilmesi

Nitrat iyonunda (NO_3^-) π molekül orbital oluşumunu, bağlanmayı ve orbitallerdeki elektron dağılımını gösteriniz.

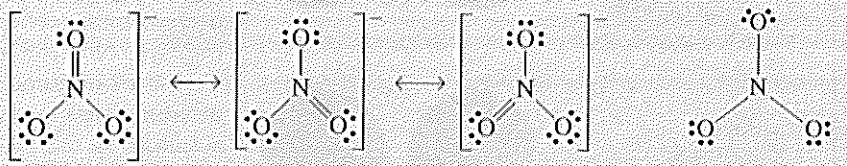
Analiz

Sayfa 476'da verilen sırayı izleyiniz. Önce, σ bağı iskeletini oluşturan elektronlar üzerine yoğunlaşınız ve atomların melezleşme türlerini belirleyiniz. Sonra, π sistemindeki elektronların sayılarını saptayınız ve π molekül orbitallerini oluşturan 2*p* orbitallerinin sayılarını bulunuz. Problemin çözüm anahtarı, π sistemindeki her tip molekül orbitalinin (bağlayıcı, karşıt bağlayıcı ya da bağlayıcı olmayan) sayısını belirlemektir. Son basamak, uygun molekül orbitallerine π sistemindeki elektronları yerleştirmektir.

(devam ediyor)

Çözüm

NO_3^- iyonu için toplam elektron sayısı $(3 \times 6 + 5 + 1) = 24$ tür. NO_3^- iyonunun rezonans yapıları ve karşılık gelen σ bağı iskeleti aşağıda gösterilmektedir. N atomu üç atoma bağlı olduğu için sp^2 melezleşmiştir. Her bir oksijen atomunu da sp^2 melezleşmiş kabul edebiliriz. Bu melez orbitallerden biri N ile bir σ bağı yapmış, diğer ikisi de ortaklanmamış elektron çiftlerini barındırmaktadır.



sp^2 σ bağı iskeleti

σ bağı iskeletindeki elektronların sayısı 18 dir, dolayısıyla π sistemindeki elektron sayısı $24 - 18 = 6$ dır. Bu 6 elektron, dört $2p$ orbitalinin (her atomda bir tane olmak üzere) birleşmesiyle elde edilen π molekül orbitallerinde bulunmalıdır. Şimdi π sisteminde bulunan molekül orbitallerinin sayısını ve tiplerini bulmalıyız.

Dört $2p$ orbitalinden başlayarak, toplam dört π molekül orbitali olması gerektiğini çıkarabiliriz. Ozondaki gibi molekül orbitallerinden biri bağlayıcı orbitaldir ($2p$ orbitallerinin hepsi aynı fazda), diğeri ise bir karşıt bağlayıcı orbitaldir ($2p$ orbitallerinin hepsi faz dışı). π bağlayıcı molekül orbitalinin enerjisi π karşıt bağlayıcı orbitalinin enerjisinden daha düşüktür. Bundan dolayı, π sisteminde $4 - 2 = 2$ tane *bağlayıcı olmayan* molekül orbitali bulunmalıdır. Bu bağlayıcı olmayan orbitallerin enerjileri $2p$ orbitallerininkine eşittir. Bu yüzden enerjileri bağlayıcı molekül orbitallerinden yüksek fakat karşıt bağlatıcı molekül orbitalinden daha düşüktür. Aşağıda gösterilen molekül orbital diyagramı altı π elektronunun π molekül orbitallerine nasıl yerleştiğini göstermektedir.



NO_3^- iyonunun delokalize π molekül orbitalleri

Buna göre NO_3^- iyonunda π bağı derecesi 1 dir.

Değerlendirme

Bu iyonun π bağı derecesi birdir ve yukarıdaki diyagramda gösterildiği gibi π bağı üç azot-oksijen bağı üzerine eşit olarak dağılmıştır. 11-4 de Merak Ediyorsanız 'da NO_3^- iyonunun π molekül orbitallerinin şematik gösterimi verilmektedir.

ALIŞTIRMA A: SO_3 molekülündeki bağlanmayı lokalize ve delokalize orbitalleri kullanarak gösteriniz.

ALIŞTIRMA B: NO_2^- iyonundaki kimyasal bağlanmayı lokalize ve delokalize orbitalleri kullanarak gösteriniz.

11-8 KAVRAM DEĞERLENDİRME

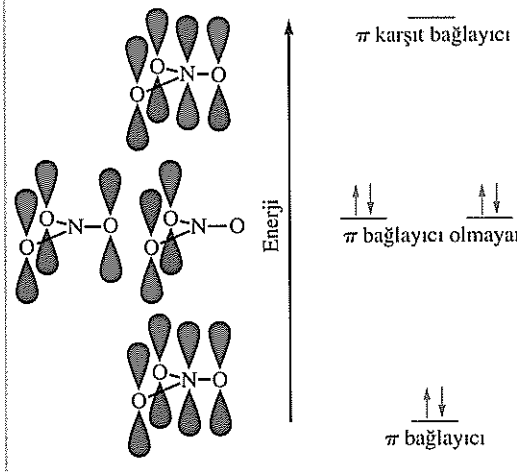
HCO_2^- de ozon ve nitrat anyonuna benzer şekilde delokalize π bağı bekler misiniz?

11-4 MERAK EDİYORSANIZ...

NO_3^- iyonunun π molekül orbitalleri nasıldır?

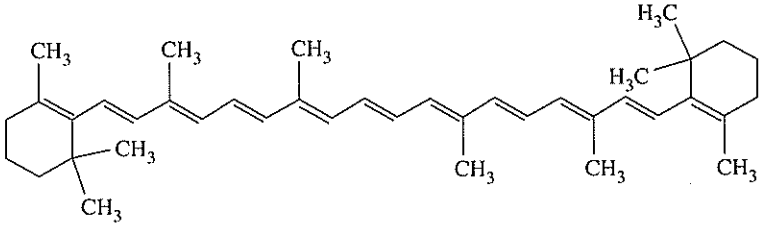
Bu orbitallerin oluşturulması Şekil 11-34 de gösterilmektedir. π bağlayıcı molekül orbitali, hepsi aynı fazda dört tane $2p$ orbitalinden (N'da bir, üç oksijen atomunun herbirinden bir tane olmak üzere) oluşur. Buna karşılık gelen karşıt bağlayıcı π orbitalinin iki düğümü vardır ve daha yüksek enerjilidir.

Dört $2p$ orbitalinin karışmasından dört molekül orbitali oluşmasını beklemeliyiz. Geriye kalan iki molekül orbitali bir düğüm içermelidir. NO_3^- anyonunda bir düğüm içeren bir molekül orbitali oluşturmanın tek yolu, azot atomunda bir düğüm içeren molekül orbitalidir. Böyle bir molekül orbitali azota göre bağlayıcı olmayan molekül olmalıdır. Yozlaşmış bağlayıcı olmayan orbitallere katkıda bulunmayan azot, Şekil 11-34 de gösterilen hesaplanmış molekül orbitallerinde açıkça görülebilir.



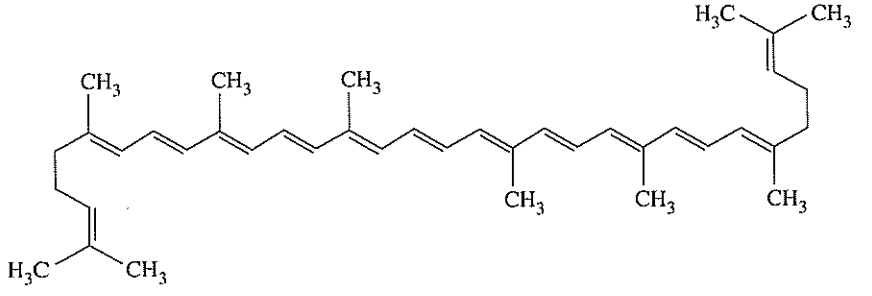
▲ ŞEKİL 11-34
Nitrat (NO_3^-) anyonunun, π bağlayıcı orbitalleri
π bağlayıcı molekül orbitalinde p orbitallerinin hepsi aynı fazdadır; buna karşılık π karşıt bağlayıcı orbitalinde p orbitallerinin hepsi faz dışıdır. Bağlayıcı olmayan orbitallerinin herbirinin azot atomunda bir düğümü vardır.

Molekül orbital kuramının önemini, bitkilerin renkli oluşlarını bu kuram ile açıklayarak daha iyi anlayacağız. Sebzelerden izole edilen tipik iki pigment molekülü: havuç ve yapraklarında bulunan β-karoten ve doma-



β-Karoten, $C_{40}H_{56}$

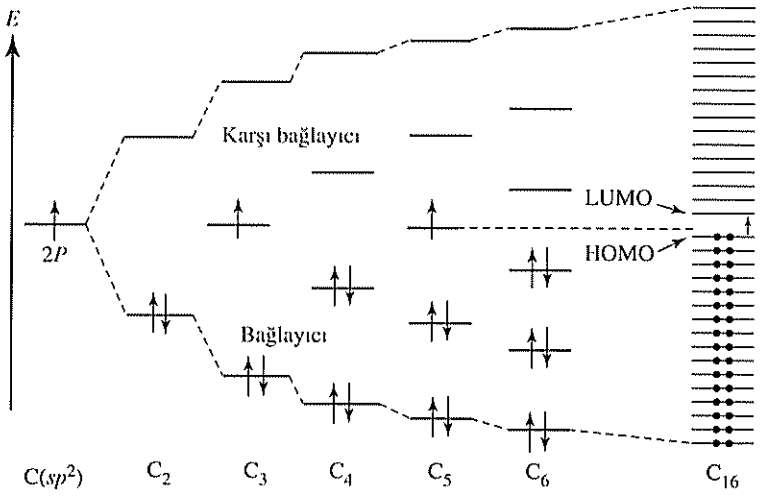
teste bulunan likopen'dir. Bu moleküllerin ortak özellikleri genişletilmiş



Likopen, $C_{40}H_{58}$

π sistemi içermeleridir. Düzlem üçgen karbon atomlarının çok sayıdaki p orbitali, çok sayıdaki π molekül orbitaline katkıda bulunur. Sonuç olarak, moleküllerin birbirine çok yakın olan çok sayıda π molekül orbitali oluşmuştur (Şekil 11-35).

Uzun genişlemiş π sistemi içeren bu moleküllerde, *en yüksek enerjili dolu molekül orbitali* (HOMO) ile *en düşük enerjili boş molekül orbitali*nin (LUMO) enerjileri birbirine çok yakındır. Bunun sonucu olarak, HOMO'dan



▲ ŞEKİL 11-35
Uzun zincirli bir poliende π molekül orbitallerinin oluşumu
Böyle bir genişlemiş π sistemini karoten benzeri moleküllerde olduğu gibi, bir ikili bir tekli bağın sürekliliği ile olur. Burada birbirine yakın olan çok sayıda enerji seviyeleri vardır ve HOMO-LUMO farkı çok azdır. Böyle genişlemiş π sistemi olan moleküller görünür bölgedeki ışınlar elektronları HOMO'dan LUMO'ya uyarabildiğinden, renklidirler.

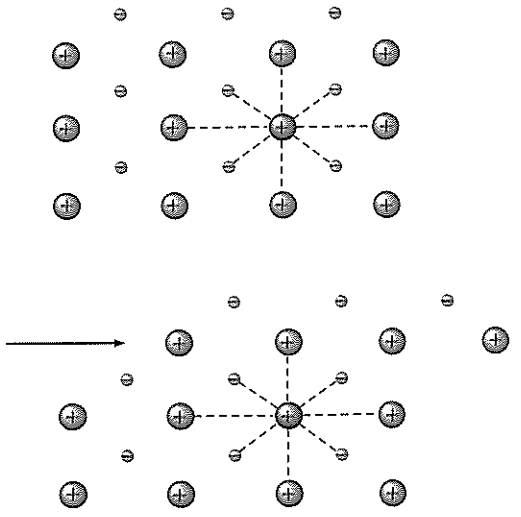
LUMO'ya bir elektronu uyarmak için çok az enerji gerekir (Şekil 11-35). Görünür bölgedeki fotonlar, HOMO ile LUMO arasındaki enerji farkını karşılayıp, elektronları uyarmak için gereken enerjiyi sağlamaya yeterlidir. Bu fotonların soğurulması sonucunda, soğuran maddeyi, yani burada bahsedilen havuç ya da domatesi, renkli görürüz.

11-7 Metallerde Bağlanma

Ametal atomlarının değerlik kabuklarında genellikle değerlik orbital sayılarından daha çok sayıda elektron vardır. Örneğin, F atomunun değerlik kabuğunda *dört* orbital ($2s$, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$) ve *yedi* değerlik elektronu vardır. Flor atomları ister katı, ister sıvı, isterse gaz halinde olsun, F_2 moleküllerini oluşturmak üzere birleşirler. Lewis yapısında görüldüğü gibi :F—F:. elektronların bir çifti F — F bağını vermek üzere ortaklanırken, diğerleri ortaklanmamış elektron çiftleri halinde bulunur. Buna karşılık, bir metal atomu olan Li un F'daki gibi değerlik kabuğunda dört orbitali olmasına karşın, *bir* değerlik elektronu vardır ($2s^1$). Bu durum, *gaz halindeki* Li:Li molekülünün oluşmasını açıklayabilirse de, katı halde her bir Li atomunun komşu *sekiz* lityum atomuna nasıl bağlandığını açıklayamaz. Öyleyse, metaller için öyle bir bağ kuramı geliştirilmeli ki, bu kadar az elektronla bu kadar çok bağlanmayı açıklayabilsin. Ayrıca bu kuram, metallerin ametallerden farklı olarak, parlaklık, elektrik iletkenliği ve bükülme kolaylığı (metaller kolayca dövülebilir ve tel haline getirilebilir) gibi özelliklerini de açıklayabilsin.

Elektron Denizi Modeli

Metallerin bazı özelliklerini açıklayabilen çok basitleştirilmiş bir kuram, katı haldeki bir metali, "elektron denizi"ne batırılmış pozitif bir iyon örgüsü olarak kabul eder. Örneğin, lityumda iyonlar Li^+ dır ve her Li atomu başına bir elektron, elektron denizine katkıda bulunur. Bu elektronlar *serbest*tir (herhangi özel bir iyona bağlı değil) ve hareketlidirler. Bu yüzden, bir dış kaynaktan sağlanan elektronlar metalin ucundan girerse, serbest elektronlar telin içinden geçer ve diğer ucundan aynı hızla çıkar. Elektriksel iletkenlik bu şekilde açıklanmış olur.



◀ ŞEKİL 11-36
Metallerin elektron denizi modeli
Pozitif iyonların oluşturduğu örgü, bir "elektron denizine" daldırılmıştır. Elektron denizi, metallerin değerlik elektronlarından oluşmuştur ve artık tek tek atomlara değil, bütün kristale aittir. Elektron denizinde bir iyon (kırmızı), ona en yakın komşu iyonlar (kahverengi) ve yakın elektronlar (mavi) renklerle vurgulanmıştır. Alttaki şekilde olduğu gibi (soldan sağa doğru) bir kuvvet uygulanırsa, gösterilen katyon etkilenmez; yakın çevresi değişmez. Elektron denizi modeli metallerin kolay şekil değiştirmesini de açıklar.

Serbest elektronların (elektron denizindeki) görünür ışığın fotonlarını soğurma yetenekleri, bir atoma bağlı elektronlardaki gibi sınırlı değildir. Bu nedenle, metaller görünür ışığı soğururlar ve şeffaf değildirler. Bir metalin yüzeyindeki elektronlar, yüzeye çarpan ışıkla aynı frekansta ışıyabilirler ve metallerin parlak görünmesini sağlarlar. Metallerin bükülme kolaylıkları ise şöyle açıklanabilir: Eğer metal iyonlarının bir tabakası diğerine doğru zorlanırsa (belki çekiç ile) hiçbir bağ kırılmaz, metalin iç yapısı esas olarak değişmeden kalır ve elektron denizi hızla yeni duruma uyum sağlar (Şekil 11-36).

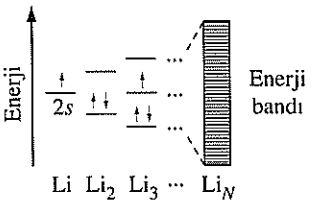
◀ Eğer bir metal yüzeyi parlak değilse, genellikle oksit, sülfür veya karbonat gibi metal bileşiği ile kaplanmıştır.

Band Kuramı

Elektron denizi modeli, metalik hali basit ve nitel olarak tanımlamaktadır. Ayrıntılı bir çalışma için, **band kuramı** denen ve molekül orbital kuramının bir şekli olan metal bağı kuramı kullanılır.

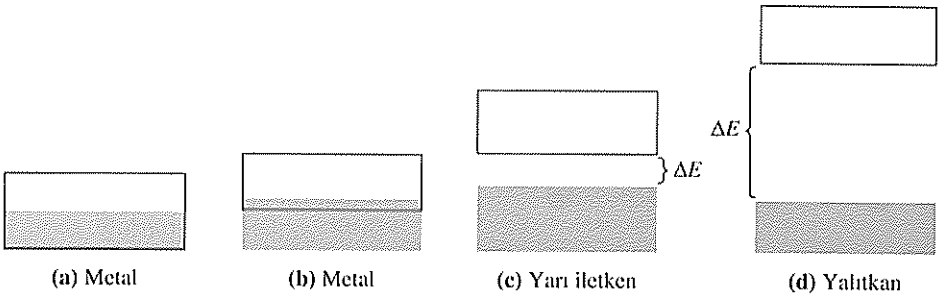
İki Li atomu arasındaki molekül orbitallerinin oluşmasını ve bağlanmayı anımsayalım (Şekil 11-26). Her Li atomu, iki molekül orbitalinin σ_{2s} ve σ^*_{2s} oluşumuna bir tane 2*s* orbitali ile katkıda bulunur. Lityumun $2s^1$ atom orbitalinde bulunan tek elektron, oluşan molekül orbitaline girerek, onu yarı dolmuş hale getirir. Yani, σ_{2s} orbitaline girer, σ^*_{2s} boş kalır. Li atomlarının bu birleşmesini üçüncü bir Li atomuna genişletirsek, toplam üç elektron içeren üç tane molekül orbitali oluşur. Yine molekül orbital dizisi yarı doludur. Bu işlemi, çok fazla sayıda atoma (*N*) (bir Li kristalindeki toplam atom sayısına) genişletebiliriz. Böylece birbiri arasında çok küçük enerji farkları bulunan *N* tane molekül orbitali dizisi elde ederiz. Birbirine çok yakın olarak yerleşmiş bu molekül orbitali enerji düzeylerinin toplamına *enerji bandı* adı verilir (Şekil 11-37).

◀ Metallerde bantlar olmasına karşın, elektronlar yinede Pauli dışlama ilkesine göre yerleşirler.



▲ ŞEKİL 11-37
Lityum metalinde enerji bandının oluşumu
Li atomları biraraya geldikçe lityum "molekülü" büyür Li_2, Li_3,... ve ilave enerji seviyeleri oluşur. Seviyeler arasındaki fark gittikçe küçülür. *N* atomlu bir kristalde, enerji seviyeleri, *N* tane birbirine yakın enerji seviyesi içeren bir band oluşturur. En düşük *N*/2 seviyeleri elektronlarla dolar, daha üst seviyelerdeki *N*/2 seviyeleri boş kalır.

Belirtilen bu band içinde *N* elektron (Li atomlarının 2*s* orbitalinden gelen elektronlar), en düşük enerjili *N*/2 molekül orbitaline eşleşmiş olarak girer. Bunlar Li atomlarının birarada tutulmalarını sağlar. Bu elektronlar değerlik elektronlarıdır ve içinde bulundukları banda *değerlik bandı* denir. Ancak, değerlik bandındaki dolu ve boş seviyeler arasındaki enerji farkı çok küçük olduğundan, elektronlar enerji seviyesi yüksek dolu orbitalden, hemen üstündeki boş orbitale kolayca atlayabilirler. Bu elektron atlaması (uyarılma), kristalde küçük bir potansiyel farkı meydana getirilmekle gerçekleşebilir (elektronların hareketli olmasının nedeni budur). Elektriksel iletkenliğin band kuramıyla açıklanması bu şekildedir. Öyleyse, elektriksel iletkenliğin nedeni, *elektronlarla kısmen dolmuş enerji bandlarının bulunmasıdır*. Böyle enerji bandlarına *iletkenlik bandları* adı verilir. Lityumdaki 2*s* bandı hem değerlik bandı, hem iletkenlik bandıdır (Şekil 11-38a).



▲ ŞEKİL 11-38
Band kuramına göre metaller, yarı iletkenler ve yalıtkanlar
(a) Bazı metallerin değerlik bandı (mavi) kısmen doludur (Na un yarı dolu 3*s* bandı gibi). Değerlik bandı aynı zamanda iletkenlik bandı ödevi görür (altı siyah çizgi olan). **(b)** Diğer metallerde değerlik bandı doludur, fakat iletkenlik bandı onu örtmüştür (Örneğin, Be metalinin 2*p* boş bandı ile 2*s* dolu değerlik bandı örtüşür). **(c)** Yarı iletkenlerde değerlik bandı tamamen dolu, iletkenlik bandı boştur. İki band arasındaki enerji engeli (ΔE), elektronların iki band arasında, ısı enerjisi gibi bir enerji yardımıyla geçiş yapabileceği kadar küçüktür. **(d)** Yalıtkanda değerlik bandı elektronlarca doldurulmuştur. Değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasında büyük bir enerji engeli (Δ*E*) vardır. Çok az elektron iki band arasında geçiş yapabilir ve bu nedenle, yalıtkanlar elektriği iletmez.

Şimdi, elektron dağılımı $1s^2\ 2s^2$ olan berilyumu ele alalım. 2*s* atom orbitallerinden oluşan bandın *N* molekül orbitali içerdiğini ve 2*N* elektronla dolduğunu düşünebiliriz. Fakat bunu, berilyumun iyi bir elektriksel iletken olduğu gerçeği ile nasıl bağdaştıracağız? 2*s* orbitalleri bandını oluştururken, 2*p* orbitalleri de *boş* 2*p* bandını oluştururlar. 2*p* bandının en düşük enerji düzeyi, 2*s* bandının en yüksek enerji düzeyinden *daha düşük*tür. Bandlar örtüşmüştür (Şekil 11-38b). Bunun sonucu olarak, berilyumda değerlik elektronlarının girebileceği boş molekül orbitalleri oluşmuştur.

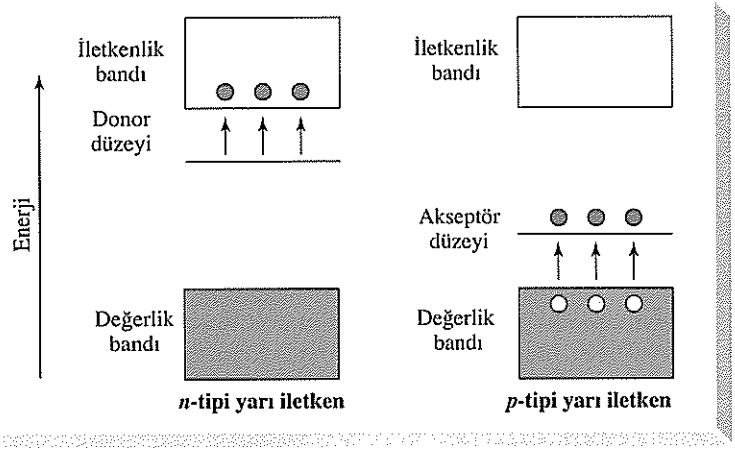
Elmas ve silika (SiO_2) gibi *elektriksel olarak yalıtkanlarda* hem değerlik bandı doludur, hem de değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasında büyük enerji engeli vardır (Şekil 11-38d). Bu iki band arasında ancak çok az elektron geçiş yapabilir.

Yarı iletkenler

Modern elektronik Öhazların çoğunda yarı iletkenler kullanılır. Diyot lambaları (LED), transistörler ve güneş pilleri yarı iletken olarak kullanılan elektronik aksamlardır. Kadmiyum sarısı (CdS) ve vermilyon (HgS) gibi yarı iletkenler parlak renklidir ve ressamlar tarafından kullanılır.

Bir yarı iletkenin elektronik özelliklerini, değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji engeli (enerji bandı) belirler (Şekil 11-38c). CdS gibi bazı maddelerde bu band sabit bir büyüklüktedir. Böyle maddelere *içsel yarı iletkenler* denir. Bu yarı doğal içsel iletkenlere beyaz ışık etkidiğinde, elektronlar iletkenlik bandına uyarılırlar. CdS mor renkli ışığı ve biraz da mavi ışığı soğurur. Diğer frekanslar bir elektronu uyarmak için gerekli enerjiden yoksundurlar ve soğurulmazlar. Bu nedenle CdS sarı görünür. GaAs ve PbS gibi bazı yarı iletkenlerin enerji engeli yeteri kadar küçüktür ve görünür ışığın bütün frekanslarını soğururlar. Görünür ışık yansımadığı için, böyle maddeler siyah görünür.

Silisyum ve germanyum gibi bir yarı iletkende dolu değerlik bandı ve boş iletkenlik bandı yalnızca küçük bir enerji bandı ile ayrılır. Değerlik bandındaki elektronlar iletkenlik bandına atlamak için yeterli ısıl enerjiyi kazanabilir. Isıl enerji arttıkça, atlayan elektron sayısı da artar. Bu durum, yarı iletkenlerde iletkenliğin sıcaklıkla niçin arttığını açıklamaktadır.



◀ ŞEKİL 11-39
p- ve n-tipi yarı iletkenler
Donor atomları olan bir yarı iletkende (örneğin, silisyun içinde P), donor düzeyi iletkenlik bandının tam altındadır. Elektronlar (●) kolayca iletkenlik bandına geçer. Bu *n*-tipi bir yarı iletkendir. Akseptör atomları olan bir yarı iletkende (örneğin, Si içinde Al), akseptör düzeyi değerlik bandının tam üzerindedir. Elektronlar (●) kolayca, değerlik bandında pozitif delikler (○) bırakarak akseptör düzeyine geçerler. Bu da *p*-tipi bir yarı iletkendir.

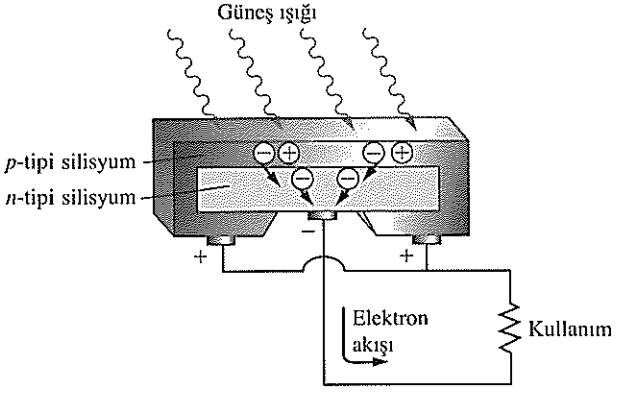
Dışsal yarı iletken denen birçok yarı iletkende enerji engeli, dışarıdan eklenen safsızlıklarla uyarılır. Bu uyarmanın nasıl yapıldığını, çok kullanılan bir yarı iletken olan silisyum üzerinde görelim.

Silisyum, fosforla katkılandığında, P atomlarının enerji düzeyi, Şekil 11-39 da gösterildiği gibi silisyumun iletkenlik bandının tam altında yer alır. Her P atomu beş değerlik elektronundan *dördünü* dört komşu Si atomu ile bağ yapmak üzere kullanır ve yalnızca ısıl enerji "fazladan kalan" değerlik elektronunu iletkenlik bandına atlatmak için yeterlidir. Bu şekilde arkalarında hareketsiz pozitif P^+ iyonlarını bırakırlar. P atomları *donör* (verici) atomlar olarak adlandırılır. Bu tip yarı iletkenlerdeki elektriksel iletkenlik başlıca donör atomlardan gelen elektronların iletkenlik bandına doğru hareketlerinden oluşur. Bu tip yarı iletkenlere *n-tipi* yarı iletkenler denir. Buradan *n* elektronlarla taşınan elektrik yükünün tipini gösterir ve negatiftir.

◀ Doğal bir yarı-iletken içsel yarı-iletken olarak adlandırılır. Doplama (dışarıdan ilave) ile yarı-iletken haline getirilen yarı-metaller, dışsal yarı-iletkenler olarak adlandırılırlar.

Silisyum, aluminyum ile katkılandığında, Al atomlarının enerji düzeyi silisyum değerlik bandının tam üzerinde (Şekil 11-39) yer alır. Bu atomlara da *akseptör* (alıcı) atomlar denir. Bir Al atomunun sadece *üç* değerlik elektronu olduğu için üç komşu Si atomuyla düzgün elektron-çifti bağı, dördüncü Si atomuyla ise sadece bir elektron bağı oluşturur. Bir elektron, değerlik bandından akseptör düzeyde bir Al atomuna kolayca geçer ve hareketsiz bir negatif Al^- iyonu oluşur. Bu gerçekleşince değerlik bandında bir *pozitif delik* meydana gelir. Bu tip yarı iletkenlerdeki elektriksel iletkenlik başlıca pozitif deliklerin göçü ile olur, bunlara da *p-tipi* yarıiletkenler denir.

Şekil 11-40, bir güneş pilinde yarı iletkenlerin nasıl kullanıldığını gösterir. İnce bir *p-tipi* yarı iletken tabakası ile *n-tipi* bir yarı iletken, *kavşak* denen bir bölgede temas ettirilir. Normal olarak, kavşaktan geçen elektron ve pozitif delik sayısı çok az olmalıdır. Aksi durumda bir yük ayrılması ortaya çıkacaktır. *p-tipi* yarı iletkende kavşağı geçen pozitif delikler hareketsiz Al^- iyon-



◀ ŞEKİL 11-40
Silisyum yarı iletkenini kullanan bir güneş pili.

larından uzağa doğru hareket ederler. *n-tipi* yarı iletkenden kavşağı geçen elektronlar da hareketsiz P^+ iyonlarından uzağa doğru hareket ederler.

Şimdi, *p*-tipi yarı iletkene bir ışık ışını düştüğünü düşünün. Değerlik bandındaki elektronlar enerji soğurarak iletkenlik bandına geçecekler ve değerlik bandında pozitif delikler oluşturacaklardır. İletken elektronlar, pozitif deliklerden farklı olarak, kavşağı kolayca geçebilirler ve *n-tipi* yarı iletkene atlarlar. Bu olay bir elektron akımı, yani elektrik akımı doğurur. Elektronlar teller yardımıyla lamba, elektrik motoru gibi nesnelerden geçerek, yeniden *p-tipi* yarı iletkene döner ve buradan pozitif delikleri doldurur. Böylece, daha çok ışık soğurulması, daha çok iletken elektron ve daha çok pozitif delik oluştururlar. Güneş piline ışık düştüğü sürece bu olay devam eder gider.

11-9 KAVRAM DEĞERLENDİRME

GaN bir yarıiletken midir?

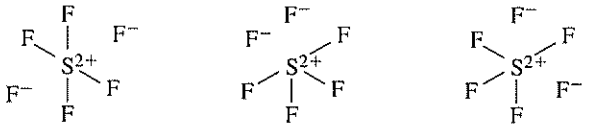
11-8 Bazı Çözümlenmemiş Konular: Elektron Yük-Yoğunluğu Çizimleri Yardımcı Olabilir mi?

10 ve 11. bölümlerde kimyasal bağın oluşumunu, basit Lewis kuramından daha gelişmiş olan değerlik bağ ve molekül orbital yaklaşımlarına genişleterek ele almıştık. Ancak, bu modellerin her birinin noksanları olduğunu ve eleştirmeden kullanmanın yanlış sonuçlara yol açabileceğini vurgulamalıyız.

Burada, çözümlenmemiş bazı konuları ele alacağız. SF_6 ve SF_4 gibi moleküllerde, Lewis yapılarında genişlemiş değerlik kabuğunun kullanılması, bu moleküllerdeki fazladan değerlik elektronlarının nerede bulunduğuna ilişkin bir kuşku yarattı (sayfa 419). Bağlanmada özellikle *d* orbitalleri mi kullanıldı? Burada sorun, SO_4^{2-} gibi anyonlarda formal yükü en aza indirmek için genişlemiş değerlik kabuğunu kullanıp kullanamayacağımıza ilişkindir (sayfa 420). Bir diğer konu, VSEPR kuramı ya da değerlik-bağ kuramının melezleşme şemalarının molekül biçimlerine daha temel bir bakış verip veremeyeceğidir. Sonuç olarak, değerlik-bağ ve molekül orbital kuramlarının nasıl birbiri ile ilişkili olduğuna şaşıracağız. Bu kesimde, elektron yük yoğunluğu hesaplamalarının önemini vurgulayarak bu sorulara yanıt bulmaya çalışacağız.

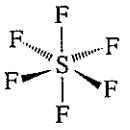
SF_6 Molekülünde Bağlanma

Önce, SF_6 da bağ oluşumunun oktet kuralıyla açıklanıp açıklanamayacağını görelim. Rezonans yapılarını yazarak, gerçek elektronik yapının bu rezonans yapılarının birleşmesiyle oluştuğunu düşünelim.



Bu rezonans yapıları *hiperkonjügasyon* kavramını gösterir. Bu, bir merkez atoma diğer atomları bağlamada kullanılan elektron çiftleri sayısının oluşan bağ sayısından daha az olduğu bir durumdur. SF_6 da, merkez atom S'e altı F atomu dört elektron çifti ile bağlandığında oktet kuralı korunur. Rezonans yapıları bu şekilde yazıldığında, bağ çizgileri polar olmayan kovalent bağları gösterirken, diğerleri tam iyonik karakterdedir. SF_6 molekülünün bağları eşdeğerdir ve sonuç olarak yukarıda gösterilen yapılardan toplam 15 yapı yazılabilir. Bu tanım, kükürt üzerinde 2+ ve altı F atomu üzerinde toplam 2– yüke karşılık gelmek üzere her F atomunda

1/3– yükü açıklar. Ayrıca, bağ oluşumunun bu tanımı, aşağıda gösterilen Lewis yapısı yazıldığında ortaya çıkan, S atomu üzerindeki "fazla" elektronların nereye gittiğine dair bir sorundan da kurtulmamızı sağlarken, bağların polarlığını belirtmeye de uygundur.



SF_6 da bağ oluşumunu belirtmek için hiperkonjügasyon kavramını kullanmalı mıyız? Bu soruya bir yanıt, S ve F atomları üzerinde önerilen yüklerle kuantum mekanik hesaplamalardan elde edilenleri karşılaştırmaktır. Hesaplamalar, S üzerinde 3,17+, her F atomu için de 0,53– yük olduğu sonucunu vermektedir. Hiperkonjügasyonla bağ oluşumunu tanımlamak kuantum mekanik hesaplamalarla daha iyi uyuşmaktadır. Yani daha fazla yük, daha az kovalent bağ içeren ek rezonans yapılarını kullanmalıyız. Böyle bir yaklaşım, açıkça sıkıcıdır ve bu kadar çok sayıda yapının kabul edilmesi oktet kuralını doğrulamak için kabul edilemez.

Hipervalent moleküller olarak adlandırılan genişlemiş değerlik kabuğu olan molekülleri tanımlamada sorun, yapıda polar bağları belirlemede kabul edilmiş genel bir yolun olmayışıdır. Dahası, Lewis'in "sekiz kuralı"nı önerdiği dönemde PCl_5 ve SF_4 gibi sadece birkaç molekülün bilindiğini, Lewis'in de bu istisnaları göz önüne almadığını anımsayalım. Neden bu böyleydi? Lewis, 8 kuralından daha önemli temel "iki kural" ortaya attı. Bunlar, bağ oluşumunu anlamada en önemli kavram olan elektron çifti yük yoğunluğu ve genişlemiş değerlik kabuğuna sahip moleküllerde bağ oluşumunun diğer bağ oluşumlarından farklı olmadığıydı. Bu moleküllerdeki bağlar diğer moleküllerdekine benzer ve kovalentten iyonik bağa kadar değişebilir.

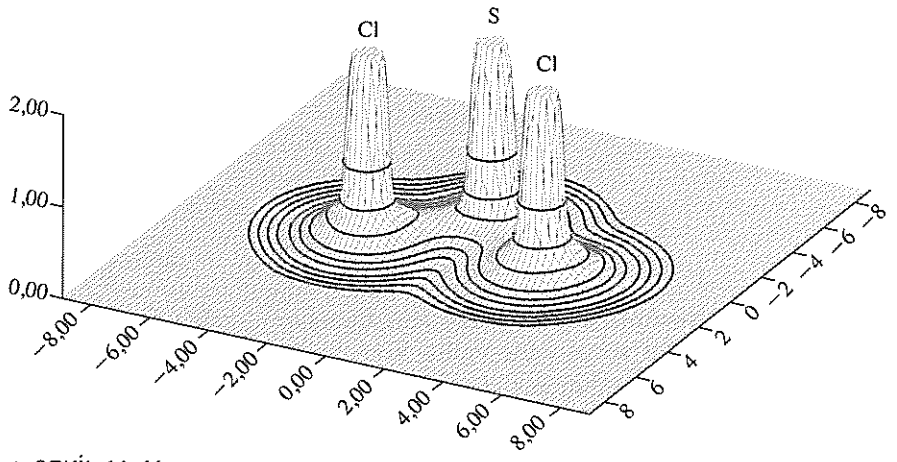
Hiperkonjügasyonu kullanmasaydık "fazla"dan elektronların nerede olduğunu nasıl belirtirdik? Bu soru akla gelir, çünkü biz bağ oluşumunu atom orbitallerinin melezleşmesi temelinde düşünüyoruz. Metan molekülünde bağ oluşumunu tanımlamak için dörtyüzlü geometriyle uyumlu sp^3 melez orbitallerini göz önüne alıyoruz. Yani melezleşme, geometri *sonucunda* belirlenmektedir. Bir molekülün geometrisi sadece deneysel olarak belirlenebilir ya da VSEPR kuramının kullanılmasıyla öngörülebilir.

Orbitallerin melezleşme kuramını *d* orbitallerini de içeren genişlemiş değerlik kabuğu olan moleküllere yani sıra ile 5 ve 6 elektron çifti barındıran sp^3d ve sp^3d^2 melez orbitallerine genişletmiştik. Bu parlak bir fikir olmasına karşın, *d* orbitallerinin göreceli yüksek enerjili olmaları sorun yaratmaktadır. Kuantum mekaniği hesaplamaları dalga fonksiyonlarına *d* orbitallerinin çok az katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bundan dolayı, SF_6 da bağ oluşumunu belirtmek için melezleşme şemalarında *d* orbitallerinin kullanılmasından kaçınılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Şimdi ne yapmalıyız? SF_6 molekülünde elektronlar nerededir? Elektrostatik potansiyel haritalarını oluşturmak için kuantum mekaniği hesaplama sonuçlarını kullanacağımızı yineleyelim (sayfa 402). SF_6 ve benzer moleküllerde bağ oluşumunu daha iyi anlamamız için yeniden böyle hesaplama sonuçlarına geri dönmeliyiz.

SCl_2 Molekülünde Bağlanma

Tartışmamızı sürdürmek için önce daha basit bir molekül olan SCl_2 yi gözönüne alalım. Şekil 11-41 kükürt ve iki klor atomu içeren düzlemde elektron yük yoğunluğunun (ρ) nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu diyagra-

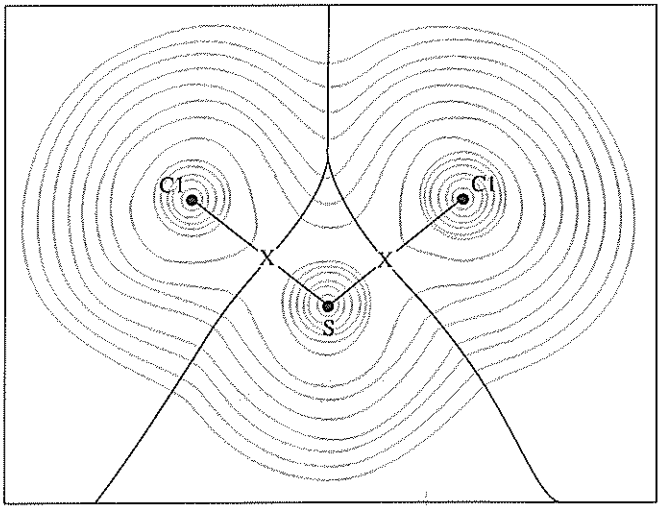


▲ ŞEKİL 11-41
SCl_2 nin çekirdekler düzleminde elektron yoğunluğunun eşyoğunluk düzey haritası
Renkli olarak gösterilen eşyoğunluk çizgileri. En dıştan içe doğru mavi çizgiler 0,001; 0,002; 0,004; 0,008 atom birimi (ab) ve sonra gelen üç mor renkli çizgi 0,2; 0,4; 0,8 ab.Yoğunlukların 2,00 ab'de tepesi kesilmiştir (en içteki kırmızı halka). Elektron yük yoğunluğunun atom birimi= $\frac{e}{a_0^3}$= 1,081 × 10^{12} C m^3. Burada a_0 Bohr yarıçapıdır. (*Matta and Gillespie, J. Chem. Ed., 79, 1141, 2002*).

mın en çarpıcı özelliği elektron yoğunluğunun her çekirdekte çok yüksek olmasıdır. Diyagramda diğer özellikleri göstermek için çok büyük olan maksimumların tepesi kesilmiştir. Özellikle önemli bir ayrıntı, kükürt ve klor atomlarının her birinin arasında artan elektron yoğunluğunun küçük sırtlar oluşturmasıdır. Bu yükseklik fazla olmamasına karşın, elektron yoğunluğundaki bu artma çekirdekler arası çekim kuvveti oluşmasına neden olur.

UNUTMAYINIZ
Düzey haritası bir yüzeyin topolojisindeki değişiklikleri gösterir. Benzer haritalar dağcılar tarafından bir dağın çıkılacak yollarını planlamada kullanılır.

Elektron yük yoğunluğunun başka bir gösterimi düzey haritasıdır. SCl_2 için böyle bir düzey haritası Şekil 11-42 de gösterilmektedir. Şekil 11-42 de S atomu ile her Cl atomu arasındaki çizgiler *bağ yolları* olarak adlandırılır. Bunlar normal olarak Lewis yapısında çizilen S ve bir Cl atomu arasındaki kimyasal bağı gösterir. Şekil 11-42 de S atomu üzerinde olan ve kükürte ulaşmadan ikiye ayrılan dik çizgiye ve bu ayrılan kısımların S ve bir Cl atomu arasındaki iki kükürt-klor bağının bağ yollarıyla kesiştiğine dikkat ediniz. Bu çatallanmış çizgi, elektron yoğunluğu "dağları" arasındaki vadi tabanı boyunca olan bir yola benzer şekilde elektron yoğunluğundaki minimumu takip eden bir yolu gösterir. Bu çizginin her bağ çizgisini

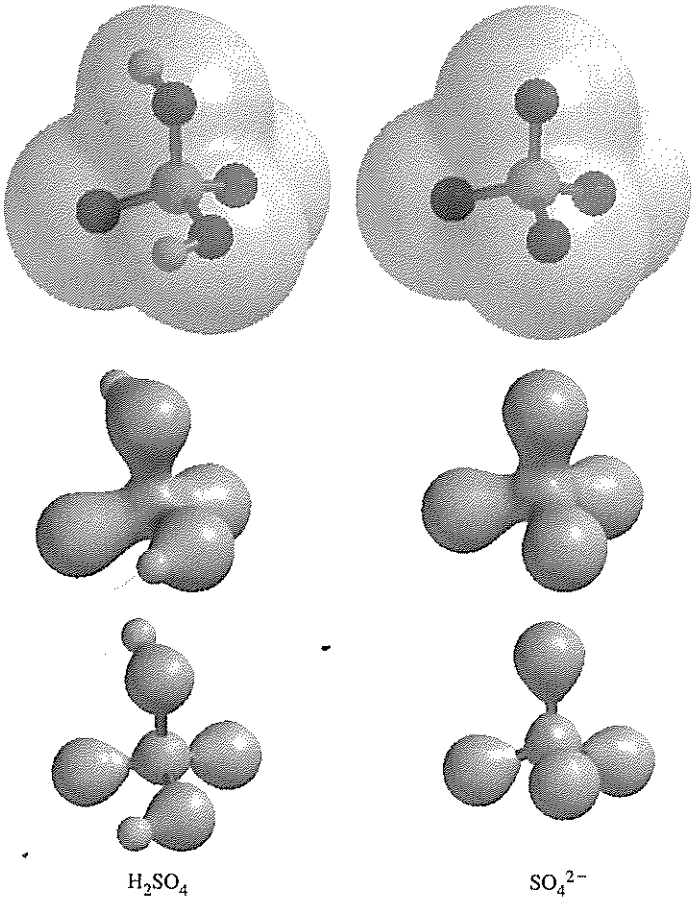


▶ ŞEKİL 11-42
SCl_2 de elektron yoğunluğunun düzey haritası
Elektron yük yoğunluğu 0,001 ab miktarındaki en dış eşyoğunluk düzeyinden 2 × 10^{-3} ab, 4 × 10^{-2} ab, 8 × 10^{-1} ab,16 × 10^{0} ab...şeklinde azar azar artar. Çekirdekleri birleştiren çizgiler bağ yollarıdır. Bağ kritik noktaları kırmızı X'ler ile gösterilmiştir. (*Matta and Gillepsie, J. Chem. Ed., 79, 1141, 2002*). .

ikiye böldüğü nokta *bağ kritik noktası* olarak adlandırılır. Bağ kritik noktasında elektron yoğunluğu, bir molekülde bir çift atomu birleştiren bağ tipini tanımlamak için kullanılabilir. Daha fazla elektron yoğunluğu daha yüksek bağ derecesi demektir.

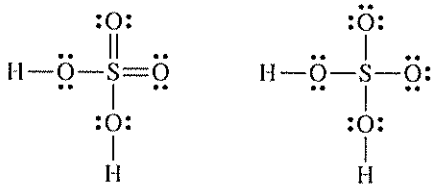
H_2SO_4 Molekülü ve SO_4^{2-} Anyonunda Bağlanma

Formal yükleri en aza indirmek amacıyla genişlemiş değerlik kabuklarını kullanıp kullanmayacağımıza karar vermek için sülfürik asit molekülünü ve sülfat anyonunu göz önüne alacağız. Şekil 11-43 de H_2SO_4 ve SO_4^{2-} için 0,001 atom birimi (ab) değerindeki elektron yük dağılım yüzeylerinin üç boyutlu bir gösterimi yer almaktadır. Bunlar elektron yük yoğunluklarının yaklaşık % 98'ini kapsayan yüzeylere karşılık gelmektedir. Daha yüksek yük yoğunluğunda bir yüzey seçersek, bu daha az elektron yük dağılımına karşılık gelecektir. Şekil 11-43 de görüldüğü gibi, % 98 yüzeyin altında hesaplanan yüzeyler için artan elektron yoğunluğunda iki elektron yük yoğunluğu eğrisi vardır. Bunlar bize ne ifade etmektedir? Bağ kritik noktasındaki yoğunluktan biraz daha fazla hesaplanan yüzey için bir yoğunluk değerine ulaştığımızda, o bağdaki elektron yoğunluğu kaybolur ve biz o bağdaki elektron yük yoğunluğunu belirlemiş oluruz. Molekülde bağ kritik noktasında daha çok elektron yoğunluğu olan bağlar varsa, o takdirde elektron yoğunluğu üç boyutlu gösterimde hala görünecektir. Bu noktayı göstermek için, 0,22 atom birimindeki elektron yük yoğunluğunu gözleyiniz, kükürt atomu ile hidrojen atomlarına bağlı iki oksijen atomu arasındaki elektron yoğunluğu kaybolacaktır (top- çubuk modelinden hemen görünür), fakat kükürt ile hidrojeni olmayan iki oksijen atomu hala görünür. Kükürt atomu ile protonlanmamış oksijen (hidrojen taşımayan oksijen) arasındaki elektron yoğunluğu, hesaplanan yüzeyin yoğunluğu

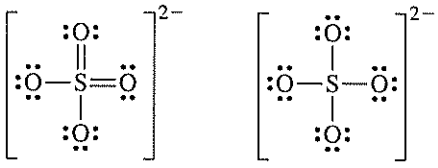


◀ ŞEKİL 11-43
H_2SO_4 ve SO_4^{2-} de elektron yoğunluğunun üç boyutlu gösterimi
H_2SO_4 ve SO_4^{2-} verilen üç şekilde; en dış eşyoğunluk zarfı değerleri 0,002 ab, 0,22 ab ve 0,28 ab dir.

0,33 atom birimine ulaşıncaya kadar kaybolmaz. Bundan, kükürt atomu ile protonlanmamış oksijen atomları arasında olan bağlardaki elektron yoğunluklarının, kükürt ve protona bağlı oksijen arasındaki bağlardan daha fazla olduğu sonucunu çıkarırız. Bu fazladan elektron yoğunluğu, merkez S atomu ile iki uç O atomu arasında bir ikili bağın yer aldığı bir Lewis yapısı ile gösterilebilir. Bu şekilde H_2SO_4 ün Lewis yapısında oktette formal yük azalması görülür.



Sülfat anyonu için elektron yoğunluğu yüzeyi göz önüne alındığında, kükürt atomu ve oksijen atomları arasındaki dört bağın, bağ kritik yoğunluğunun 0,28 atom birimi olduğunu görürüz. Bu, kükürt ve protonlanmamış oksijen atomları arasındakine benzerdir. Protonlanmış oksijen atomlarına bağlı kükürt-oksijen bağlarınınkinden daha büyük bir değerdir. Sülfat anyonunda böyle daha büyük bir bağ kritik noktasının varlığı, formal yükü en aza indiren Lewis yapısının en uygun olabileceğini akla getirmektedir. Dört kükürt-oksijen bağının hepsi aynı bağ kritik noktasına sahiptir. Bunlar yazılabilen olası rezonans yapılarına karşılık gelir.



Ulaştığımız noktada formal yükleri en aza indirmekte genişlemiş değerlik kabuklarının kullanılması en iyi yöntem gibi görünmektedir. Ancak, sülfat anyonunun dalga fonksiyonunun ayrıntılı bir analizi, baskın yapının formal yükü en aza indirmeyen basit oktet yapısı olduğunu düşündürmektedir.

Nasıl İlerlemeliyiz? Doğru Formül Nedir?

Bu kesimde ortaya atılan çeşitli sorulara yanıt belki de VSEPR yönteminin yazarlarından biri olan R.J.Gillespie'nin çalışmasında yer almaktadır. R.J.Gillespie, Lewis yapılarının Lewis'in yazdığı gibi, yani genişlemiş değerlik kabuklarını içermeyen şekliyle yazılmasını önermiştir. Çok yüksek polarlıktaki bağlarda atomlar arasında makul elektron yoğunlukları (önemli ölçüde kovalent bağ) *ve* atomlar arasında büyük bir yük ayrımı (önemli ölçüde iyonik) aynı zamanda var olabilir. Bu iki etken, BF_3 (bir B–F bağı için bağ ayrışma entalpisi 613 kJ/mol) ya da SiF_4 (Si–F bağ ayrışma entalpisi 567 kJ/mol) gibi moleküllerde polar kovalent bağların bağ kuvvetlerinin daha iyi anlaşılmasını da sağlar. Buna karşılık, polar olmayan C–C bağ ayrışma entalpisi sadece 345 kJ/mol dür. BF_3 ve SiF_4 deki elektron yoğunluklarının analizi çok kuvvetli bağların oluşmasını sağlayan yüksek derecede kovalent ve iyonik özelliklere sahip bağların bir arada bulunduklarını gösterir.

Lewis yapılarının en iyi nasıl yazılacağına ilişkin tartışma şüphesiz kimyasal kaynaklarda sürecektir. Fakat bu durum cesaretinizi kırmamalıdır. Bir molekülün elektronik yapısını belirlemek için bizim yaklaşımı-

*L. Suidan, J. K. Badenhoop, E. D. Glendenning, and F. Weinhold, *J. Chem. Educ.*, **72**, 583 (1995).

mız, en basit Lewis yapısıyla birlikte bir molekülün biçimini belirlemek için VSEPR kuramını kullanma temeline dayanır. Bir kimyasal bağın yapısını daha derin araştırmak için, örneğin, bağ entalpi değerleri gibi deneysel sonuçları anlamak için, Lewis yapısına tam olarak güvenmekten çok, o molekülün hesaplanan bir elektron yoğunluğu haritasını analiz etmektir.

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Moleküllerin orbital yapıları fotoelektron spektroskopi yöntemiyle çalışılır. Bu yöntemde, yüksek enerjili fotonlar, gaz halindeki molekül örneklerinden geçirilir ve molekülden fırlayan elektronların kinetik enerjileri ölçülür. Fotoelektron spektroskopisi için bakınız: Focus On feature for Chapter 11, on the MasteringChemistry site.

Özet

11-1 Bir Bağ Kuramı Nasıl Olmalıdır?—Bir bağ kuramı, moleküllerin elektron yapısını basit Lewis modelinden daha iyi açıklamalıdır.

11-2 Değerlik-Bağ-Yöntemine Giriş—Değerlik-bağ yöntemi bir kovalent bağın, atomların atom orbitallerinin örtüşmesinden oluştuğunu kabul eder.

11-3 Atom Orbitallerinin Melezleşmesi—Bazı moleküller basitçe orbitallerin örtüşmesiyle açıklanabilse de, çoğu kez **melez orbitallere** gerek duyulur. Seçilen **melezleşme** şeması, VSEPR kuramıyla (Şekil 11-3) öngörülen elektron grubu geometrisi ile uyuşmalıdır. ***sp* melez orbitalleri** (Şekil 11-10) doğrusal elektron grup geometrisini verir; ***sp*² melez orbitalleri** (Şekil 11-9) üçgen düzlem geometrisini verir; ***sp*³ melez orbitalleri** (Şekil 11-6) dörtyüzlü geometrisini verir; ***sp*³*d* melez orbitalleri** üçgen bipiramit geometrisini verir; ***sp*³*d*² melez orbitalleri** (Şekil 11-12) sekizyüzlü geometrisini verir.

11-4 Katlı Kovalent Bağlar—Orbitallerin uc uca örtüşmesi **σ (sigma) bağlarını** oluşturur. İki *p* orbitalinin yandan örtüşmesi ise bir **π (pi) bağı** verir. Tekli kovalent bağlar σ bağlarıdır. Bir ikili bağ, bir σ bağı ile bir π bağı içerir (Şekil 11-14). Üçlü bağ ise bir σ bağı ve iki π bağından oluşur (Şekil 11-16). Bir türün geometrik şekli σ bağı iskeletini belirler, π bağları tamamlamak için gerektiğinde eklenir.

11-5 Molekül Orbital Kuram—Molekül orbital kuramında elektronların molekül orbitallerinde bulunduğu kabul edilir. Molekül orbitallerinin sayısı ve Önsi onları oluşturan atom orbitalleri ile yakından ilgilidir. Atomlar arasındaki elektron yük yoğunluğu, **bağlayıcı molekül orbitallerinde** yüksektir, **karşıt bağlayıcı molekül orbitallerinde** ise çok düşüktür (Şekil 11-21). **Bağ derecesi** bağlayıcı molekül orbitallerindeki elektron sayıları ile karşıt bağlayıcı molekül orbitallerindeki elektron sayıları arasındaki farkın yarısına eşittir (eşitlik 11-1). Bir molekülün elektronik yapısını belirlemek için molekül orbitali enerji düzeyi diyagramları ve aufbau kuralı kullanılabilir. Bu, 8. bölümde atomların elektron dağılımları için yapılan işleme benzer.

11-6 Delokalize Elektronlar: Benzen Molekülünde Bağlanma—Benzen molekülünde, (C_6H_6) bağ oluşumu, kısmen **delokalize molekül orbitalleri** kavramına dayanır. Bunlar, bir molekülde bazı atomların üzerine dağılmış yüksek elektron yoğunluğuna sahip bölgelerdir (Şekil 11-31). Delokalize molekül orbitalleri, diğer molekül ve iyonlardaki rezonans kavramına alternatif bir seçenek de sağlamaktadır.

11-7 Metallerde Bağlanma—Molekül orbitali kuramı, band kuramı olarak adlandırılan şekliyle metallere, yarı iletkenlere ve yalıtkanlara uygulanabilir (Şekil 11-38). **Band kuramı**, metallerin ısı ve elektrik iletkenliklerini, bükülme ile şekil verme kolaylıklarını ve parlaklıklarını açıklar. Bu kuram aynı zamanda yarı iletkenlerin renklerini ve elektrik iletkenliklerinin sıcaklıkla artışını da açıklar.

11-8 Çözümlenmemiş Bazı Konular—Elektron Yük-Yoğunluğu Çizimleri Yardımcı Olabilir mi?—Yük yoğunluğu eğrileri, Lewis yapıları basit olmayan moleküllerde bağ oluşumunu anlamada yol gösteriÖ olarak kullanılabilir. SF_6 gibi moleküllerde, hiperkonjügasyon kavramını kullandık. SCl_2 için elektron yoğunluğunu bağ yolları ve bağ kritik noktaları ile incelemiştik. H_2SO_4 ve SO_4^{2-} için, en düşük formal yük içeren Lewis yapılarının yazılmasıyla elde edilen yük yoğunluklarından türetilen bağ kritik noktaları bu bileşiklerde bağ oluşumunu en iyi açıklayan yollardan biridir. Genel olarak, Lewis yapıları genişlemiş değerlik kabuğu olmadan yazılmalıdır.

Pekiştirici Örnek

Hidrojen azit, (HN_3) ve bunun tuzları (metal azitler), kararsız bileşikler olup patlayıcıların fünyelerinde kullanılırlar. Sodyum azit, (NaN_3) otomobillerde hava yastıklı emniyet sistemlerinde kullanılır. HN_3 için aşağıdaki veriler bir kaynaktan alınmıştır. Bağ uzunlukları: $N_a—N_b = 124$ pm; $N_b—N_c = 113$ pm. Bağ açıları: $H—N_a—N_b = 112{,}7°$; $N_a—N_b—N_c = 180°$ (Üç N atomunu birbirinden ayırmak için a, b ve c harfleri kullanılmıştır).

HN_3 ün rezonans melezine katkıda bulunan iki yapı yazınız. Yazdığınız her bir yapı için uygun bir melezleşme ve bağlanma şeması gösteriniz.

Analiz

İki azot-azot bağının bağ derecesini belirlemek için Çizelge 10.2 deki verileri kullanabiliriz. Bu bilgileri kullanarak uygun Lewis yapılarını yazabiliriz. Bu Lewis yapılarına VSEPR kuramını uygulayarak molekülün geometrik biçimini belirleyebiliriz. Son olarak, bu bilgiden yola çıkarak merkez atomlarının melezleşme şemalarını ve molekülün bağlanma şemasını önerebiliriz.

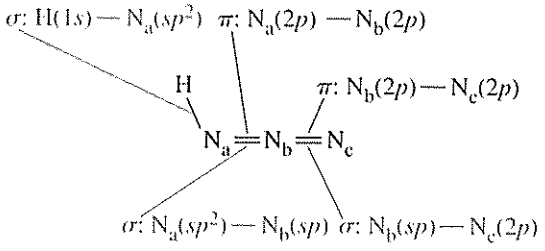
Çözüm

Çizelge 10.2 de azot-azot arasındaki ortalama bağ uzunlukları tekli bağlar için 145 pm, ikili bağ için 123 pm ve üçlü bağ için 110 pm olarak verilmiştir. Buna göre, N_a—N_b bağının (124 pm) ikili bağ karakterine, N_b—N_c bağının (113 pm) da üçlü bağ karakterine sahip olduğu görülür.

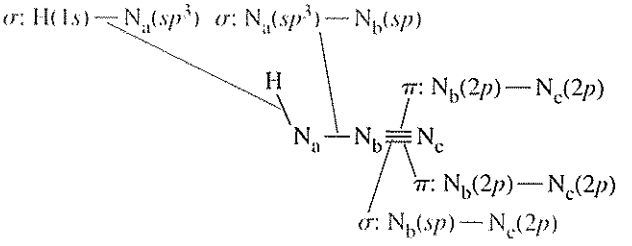
HN_3 molekülünde 8 elektron çiftinde toplam 16 değerlik elektronu vardır. Olası Lewis yapılarında, N_a ve N_b atomları merkez atomlar olmalı, N_c ve H atomları da uç atomlar olmalıdır. Bunlar, gözlenen bağ uzunluklarını yansıtan yapılardır.

(I) $H-\ddot{N}_a=N_b=\ddot{\ddot{N}}_c$ (II) $H-\ddot{\ddot{N}}_a-N_b\equiv\ddot{N}_c$

VSEPR kuramına göre, hem (I) hem de (II) yapısında N_b etrafındaki elektron grubu geometrisi çizgiseldir. Bu ise, *sp* melezleşmesine karşılık gelir. (I) yapısında, N_a etrafındaki elektron grubu geometrisi üçgen düzlemdir, bu da sp^2 melezleşmesine karşılık gelir. (II) yapısında, N_a etrafındaki elektron grubu geometrisi dörtyüzlü olup, sp^3 melezleşmesine karşılıktır. Bu melezleşme şemaları, orbital örtüşmeleri ve iki rezonans yapısının geometrileri yanda gösterilmektedir.



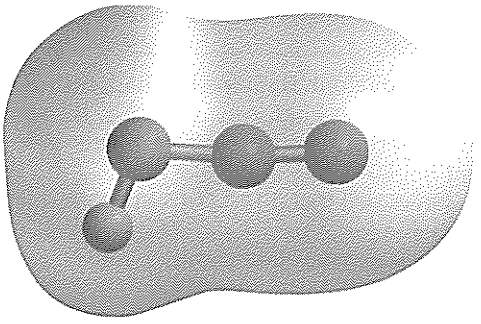
Yapı (I)



Yapı (II)

Değerlendirme

Bu iki rezonans yapıdan hangisi daha çok terÖh edilendir? Formal yükleri kullanırsak, (I) yapısında N_a, N_b ve N_c deki formal yükler sırasıyla 0, +1 ve -1 dir. (II) yapısında karşılık gelen formal yükler ise –1, +1 ve 0 dır. Formal yükler benzer olduğundan hangi yapının terÖh edileceğine karar veremeyiz. En emin yol, gözlenen molekül yapısı ile yukarıda verilen iki melezleşme şemasında önerilen yapıları karşılaştırmaktır. (I) yapısında, N_a sp^2 melezleşir, öyleyse H—N_a—N_b açısının 120 ye yakın olması beklenir. Buna karşılık (II) yapısında N_a nın melezleşmesi sp^3 tür ve bu yüzden H—N_a—N_b açısının 109 dereceye yakın olması beklenir. Deneysel olarak bulunan H—N_a—N_b açısı 109° olduğu için (II) yapısındaki melezleşme şeması terÖh edilmelidir. HN_3 molekülü için elektrostatik potansiyel haritası sağda gösterilmiştir. TerÖh ettiğimiz (II) yapısına göre N_b ve N_c ile karşılaştırıldığında N_a nın göreceli olarak negatif yüklü olduğunu gözleriz.



ALIŞTIRMA A: Melamin, yapıştırıcılarda, koruyucu kaplamada ve tekstil endüstrisinde (kırışmadan yıkanıp giyilebilen kumaşlarda) kullanılan bir karbon-hidrojen-azot bileşiğidir. Kütlece yüzde bileşimi %28,57 C, %4,80 H ve %66,64 N dur. Melamin molekülü, karbon ve azot atomlarının almaşık olarak düzenlendiği altılı bir halka içerir. Azot atomlarının yarısı ve H atomlarının hepsi halka dışındadır. Melamin için, (a) uygun bir Lewis yapısı yazınız; (b) molekülde bağ oluşumunu değerlik bağ yöntemi ile açıklayınız; (c) halka sistemindeki bağ oluşumunu molekül orbital kuramını ile açıklayınız.

ALIŞTIRMA B: Dimetilglioksim(DMG), molekül kütlesi 116,12 akb olan bir karbon-hidrojen-oksijen bileşiğidir. Yakma analizinde 2,464 g DGM örneğinden 3,735 g CO_2 ve 1,530 g H_2O oluşmuştur. Ayrı bir deneyde 1,868 g DGM örneğindeki azot NH_3'e dönüştürülmüş ve NH_3 50,00 mL 0,3600 M H_2SO_4(suda) çözeltisinden geçirilerek nötürleştirilmiştir. NH_3'ın nötürleştirilmesinden sonra geriye kalan H_2SO_4(suda) çözeltisinin nötürleştirilmesi için 18,63 mL, 0,2050 M NaOH(suda) kullanılmıştır. Bu verileri kullanarak dimetilglioksim için (a) en uygun Lewis yapısı, (b) Şekil 11-18 deki gibi uygun bir bağ oluşum şeması yazınız.

MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com internet adresinden, konu ile ilgili ilave çalışma sorularına ulaşabilirsiniz

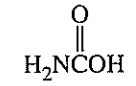
Alıştırmalar

Değerlik-Bağ Kuramı

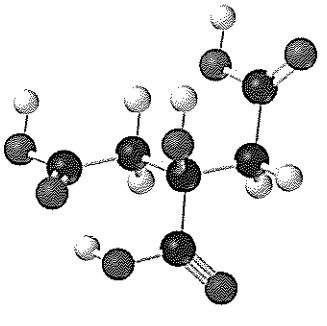
1. Kovalent bağların gösterilmesinde, değerlik bağ yönteminin Lewis yapılarına olan bir kaç üstünlüğünü gösteriniz.
2. Değerlik-bağ yönteminin uygulanmasında, atom orbitallerinin melezleşmesi neden gereklidir? Yani, sadece saf atom orbitallerinin örtüşmesiyle tanımlanabilen molekül sayısı neden çok azdır?
3. Aşağıdaki yöntemlerin herbiriyle H_2O molekül geometrisini tanımlayınız. **(a)** Lewis kuramı; **(b)** basit atom orbitallerini kullanan değerlik-bağ yöntemi; **(c)** VSEPR kuramı; **(d)** melezleşen atom orbitallerini kullanan değerlik-bağ yöntemi.
4. Aşağıdaki yöntemlerin herbiriyle CCl_4 ün molekül geometrisini tanımlayınız: **(a)** Lewis kuramı; **(b)** basit atom orbitallerini kullanan değerlik-bağ yöntemi; **(c)** VSEPR kuramı; **(d)** melezleşen atom orbitallerini kullanan değerlik-bağ yöntemi.
5. Aşağıdakilerden hangilerinde merkez atomunun sp^2 melezleşmesini beklersiniz? Açıklayınız.

   CO_3^{2-}, SO_2, CCl_4, CO, NO_2^-

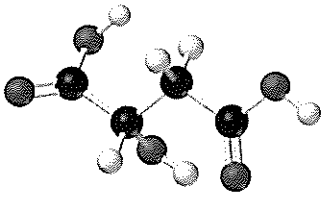
6. Aşağıdaki türlerde olası yapıları ve bağ oluşumunu Örnek 11-1deki gibi tanımlayınız. **(a)** HI; **(b)** BrCl; **(c)** H_2Se; **(d)** OCl_2.
7. Aşağıdaki türlerin herbiri için merkez atomunu belirtiniz ve bir melezleşme şeması öneriniz. **(a)** CO_2; **(b)** $HONO_2$; **(c)** ClO_3^-; **(d)** BF_4^-.
8. NSF molekülü için mantıklı bir Lewis yapısı, geometrik yapı ve melezleşme şeması öneriniz.
9. ClF_3 molekülünde, merkez atomu Cl için Çizelge 10-1 deki geometrik biçime uygun bir melezleşme şeması tanımlayınız. Cl atomunun hangi orbitalleri örtüşür? Hangisinde ortaklanmamış elektron çiftleri bulunur?
10. SF_4 molekülünde, merkez atomu S için Çizelge 10-1 deki geometrik biçime uygun bir melezleşme şeması tanımlayınız. S atomunun hangi orbitalleri örtüşür? Hangisinde ortaklanmamış elektron çiftleri bulunur?
11. Aşağıdaki türlerden verilen melezleşme şemalarına uyanları belirleyiniz. sp, sp^2, sp^3, sp^3d, sp^3d^2 **(a)** PF_6^-; **(b)** COS; **(c)** $SiCl_4$; **(d)** NO_3^-; **(e)** AsF_5
12. Aşağıdaki moleküllerde merkez karbon atomu için melezleşme şemaları öneriniz. **(a)** Hidrojen siyanür, HCN; **(b)** metil alkol, CH_3OH; **(c)** aseton,$(CH_3)_2CO$; **(d)** karbamik asit,



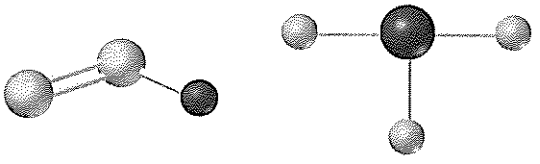
13. Aşağıdaki molekül ve iyonların hangisinin doğrusal, hangisinin düzlemsel olduğunu gösteriniz. Daha sonra merkez atomlarının melezleşme şemalarını yazınız. **(a)** $Cl_2C{=}CCl_2$; **(b)** $N{\equiv}C{-}C{\equiv}N$; **(c)** $F_3C{-}C{\equiv}N$; **(d)** $[S{-}C{\equiv}N]^-$
14. Aşağıdaki moleküllerin yapılarını, Şekil 11-17 deki gibi basit atom orbitallerinin ve melez orbitallerin örtüşmesiyle gösteriniz: **(a)** CH_2Cl_2; **(b)** OCN^-; **(c)** BF_3.
15. Aşağıdaki moleküllerin Lewis yapılarını yazınız; sonra her bağı σ ve π diye işaretleyiniz. **(a)** HCN; **(b)** C_2N_2; **(c)** $CH_3CHCHCCl_3$; **(d)** HONO.
16. Karbon dioksit, (CO_2) molekülünde bağlanmayı, **(a)** Lewis yapısı, **(b)** değerlik bağ yöntemi ile belirleyiniz. σ ve π bağlarını belirtiniz; gerekli melezleşme şemasını ve orbital örtüşmesini gösteriniz.
17. Aşağıdaki moleküllerin herbirinde bağ oluşumunu Şekil 11.18 da verilen yöntemden yararlanarak gösteriniz: **(a)** CCl_4; **(b)** ONCl; **(c)** HONO; **(d)** $COCl_2$.
18. Aşağıdaki iyonların herbirinde bağ oluşumunu, Şekil 11.18 deki yöntemi kullanarak gösteriniz. **(a)** NO_2^-; **(b)** I_3^-; **(c)** $C_2O_4^{2-}$; **(d)** HCO_3^-.
19. Aşağıdaki molekül modeli, turunçgillerin suyunda bulunan ve asidik bir bileşik olan sitrik asidi gösterir. Sitrik asit molekülündeki bağ oluşumunu, melezleşme şemasını ve orbital örtüşmesini Şekil 11.18 deki yöntemi kullanarak gösteriniz.



20. Malik asit, olgunlaşmamış elmada ve diğer meyvalarda bulunan bir organik asittir. Aşağıdaki molekül modelinin yardımıyla, malik asit molekülündeki bağ oluşumunu, melezleşme şemasını ve orbital örtüşmesini Şekil 11-8 deki yöntemi kullanarak gösteriniz.

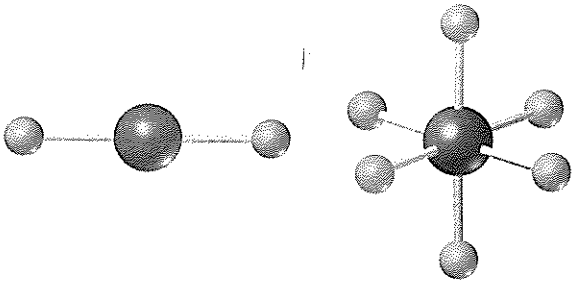


21. Aşağıda top-çubuk modelleri gösterilen yapılara uygun, melezleşme ve orbital örtüşmesi şemalarını açıklayınız.



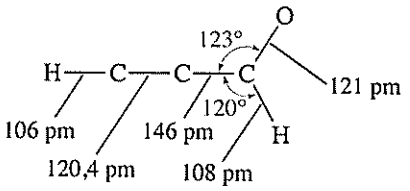
(a) S_2O (b) BrF_3

22. Aşağıda top-çubuk modelleri verilen yapılara uygun melezleşme ve orbital örtüşmesi şemalarını açıklayınız.

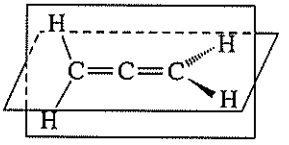


(a) XeF_2 (b) IF_6^+

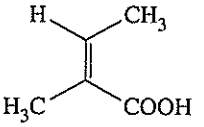
23. Propinal'ın yapısına uygun bir bağlanma şeması öneriniz. [*İpucu*: Bazı bağlardaki katlı bağ karakteri için Çizelge 10.2'ye bakınız).



24. Allen, (CH_2CCH_2) molekülünün yapısı aşağıda gösterilmiştir. Bu moleküldeki C atomları için melezleşme şemaları öneriniz.

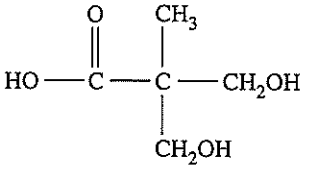


25. Aşağıda formülü verilen anjelik asit, sümbül kökünde oluşur ve uyarıcı olarak kullanılır.



Anjelik asit molekülünde bağ oluşumunu, melezleşme şeması ve orbital örtüşmesini, Şekil 11-18 deki yöntemi kullanarak gösteriniz. Aynı düzlemde yer alan atomların maksimum sayısı nedir?

26. Aşağıda formülü verilen dimetilpropiyonik asit reçine elde edilmesinde kullanılır.



Dimetilpropiyonik asit molekülünde bağ oluşumunu, melezleşme şemalarını ve orbital örtüşmesini, Şekil 11-18 deki yöntemi kullanarak gösteriniz. Aynı düzlemde yer alan atomların sayısı nedir?,

Molekül Orbital Kuramı

27. Bir kovalent bağın tanımlanmasında, değerlik-bağ yöntemi ile molekül orbital kuramı arasındaki temel farkları açıklayınız.
28. İki atomlu, C_2 molekülünün bağ derecesini, hem Lewis kuramı ve hem de molekül orbital kuramıyla belirleyiniz ve sonuçların neden farklı olduğunu açıklayınız.
29. $N_2(g)$ nin çok yüksek bir bağ enerjisi vardır. Gaz halinde N_2^- ya da N_2^{2-}den hangisinin kararlı olmasını beklersiniz? Açıklayınız.
30. Gaz halinde B_2 nin paramanyetik olduğu saptanmıştır. B_2 için π_{2p} orbitallerinin σ_{2p} orbitallerinden daha düşük enerjili oluşunun bu gözleme uygun olduğunu nasıl açıklarsınız?
31. Bağ oluşumu konusunda üçlü bağdan daha fazla bağ derecesi ile karşılaşmadık. Şekil 11-26 deki enerji seviyesi diyagramlarını kullanarak, bunun beklenen bir durum olduğunu gösteriniz.
32. İki atomlu bir molekül, bir elektron kaybettiği zaman bağ enerijisi azalır, yani bağ zayıflar şeklindeki bir ifade doğru mudur? Açıklayınız.
33. Aşağıdaki molekül orbital çiftlerinden hangisinin daha düşük enerjili olmasını beklersiniz? Seçiminizin nedenini açıklayınız. (a) σ_{1s} ve σ^*_{1s} ; (b) σ_{2s} ve σ_{2p}; (c) σ^*_{1s} ve σ_{2s}; (d) σ_{2p} ve σ^*_{2p}

34. C_2^+, O_2^-, F_2^+ ve NO^+ iyonlarının her biri için (a) Molekül orbital diyagramı yazınız (Örnek 11-6 daki gibi).

(b) Bağ derecelerini belirleyiniz ve kararlı mı, yoksa kararsız mı olmasını beklediğinizi söyleyiniz.

(c) Diyamanyetik ya da paramanyetik olup olmadıklarını belirleyiniz; paramanyetik ise eşleşmemiş elektronları gösteriniz.

35. Aşağıdaki iki atomlu türlerin uygun molekül orbital diyagramlarını yazınız. (a) NO; (b) NO^+; (c) CO; (d) CN; (e) CN^-; (f) CN^+; (g) BN.

36. Aynı elektron dağılımına sahip atomlar için "izoelektronik" terimi kullanılır. Molekül orbital kuramında bu terim molekül türleri için de kullanılabilir. Alıştırma 35 deki türlerin hangileri izoelektroniktir?

37. NO^+ ve N_2^+ iyonlarını göz önüne alınız ve molekül orbital kuramını kullanarak aşağıdakileri yanıtlayınız.

(a) İyonların molekül orbital dağılımlarını yazınız (1*s* elektronlarını ihmal ediniz).

(b) Bağ derecelerini öngörünüz.

(c) İyonlardan hangisi paramanyetiktir, hangisi diyamanyetiktir?

(d) İyonlardan hangisinin bağ uzunluğu daha büyüktür? Açıklayınız.

38. CO^+ ve CN^- ionlarını göz önüne alınız.

(a) İyonların molekül orbital dağılımını yazınız (1*s* elektronlarını ihmal ediniz).

(b) İyonların bağ derecelerini tahmin ediniz.

(c) İyonlardan hangisi paramanyetik, hangisi diyamanyetiktir?

(d) İyonlardan hangisinin bağ uzunluğu daha büyüktür? Açıklayınız.

39. CF için molekül orbital diyagramı oluşturunuz . CF^+ nın bağ uzunluğunu CF nin bağ uzunluğu ile karşılaştırınız.

40. CaF için molekül orbital diyagramı oluşturunuz. CaF^+ nın bağ uzunluğu, CaF nin bağ uzunluğundan büyük müdür, yoksa küçük müdür?

Delokalize Molekül Orbitalleri

41 Delokalize molekül orbitalleri kavramının neden benzen, C_6H_6, molekülünde bağ oluşumunu anlamak için temel olduğunu açıklayınız.

42. Molekül orbitali kuramı kullanıldığında rezonans kavramına neden gerek duyulmadığını açıklayınız.

43. Aşağıdaki türlerin hangisinde delokalize molekül orbitali bulunmasını beklersiniz? Açıklayınız. (a) C_2H_4; (b) SO_2; (c) H_2CO?

44. Aşağıdaki türlerin hangisinde delokalize molekül orbitali bulunmasını beklersiniz? Açıklayınız. (a) HCO_2^-; (b) CO_3^{2-}; (c) CH_3^+

Metal Bağı Oluşumu

45. Aşağıdaki etmenlerin hangisi, bir bileşiğin metal özelliği taşıyıp taşımadığını belirlemede özellikle önemlidir? Açıklayınız. (a) atom numarası; (b) atom kütlesi; (c) değerlik elektronları sayısı; (d) boş atom orbitalleri sayısı; (e) atomdaki elektron kabuklarının toplam sayısı.

46. Atomların temel hal elektron dağılımlarına dayanarak, sodyum, demir ve çinkonun erime noktaları ve sertliklerinin nasıl olmasını beklersiniz? Açıklayınız.

47. 26,8 mg ağırlığında bir tek sodyum kristalinin 3*s* iletkenlik bandında kaç enerji seviyesi vardır? Bu bandda kaç elektron vardır?

48. Magnezyumun elektron dağılımı $[Ne]3s^2$ olup, dolu bir 3*s* alt kabuğuna sahip olmasına karşın, çok iyi bir elektriksel iletkendir. Magnezyumun neden elektriği ilettiğini band kuramını kullanarak açıklayınız.

Yarı İletkenler

49. Aşağıdaki maddeleri iletken, yarı iletken ve yalıtkan terimlerinden hangisi en iyi tanımlar? (a) paslanmaz çelik; (b) katı sodyum klorür; (c) kükürt; (d) germanyum; (e) deniz suyu; (f) katı iyot

50. Aşağıdaki hangi tip malzemelerde değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasında enerji engeli en çoktur? Açıklayınız: metal, yarı iletken, yalıtkan

51. Silisyuma az miktarda katıldıklarında *p*-tipi yarı iletken oluşturan bileşikler hangileridir? Açıklayınız. (a) kükürt, (b) arsenik, (c) kurşun, (d) bor, (e) galyum arsenür, (f) galyum.

52. Aşağıdaki bileşiklerden hangileri germanyuma az miktarda katıldığında bir *n*-tipi yarı iletken oluşturur? Açıklayınız. (a) kükürt, (b) aluminyum, (c) kalay, (d) kadmiyum sülfür, (e) arsenik, (f) galyum arsenür?

53. Çok saf silisyumun elektriksel iletkenliğine sıcaklık değişiminin etkisi, çok az miktarda arsenik içeren silisyumunkinden çok farklıdır. Bunun nedenini açıklayınız.

54. Bir yarı iletkenin elektriksel iletkenliğinin eser miktarda donor ya da akseptör atomlar varlığında önemli derecede arttığını, buna karşılık her ikisinden eşit miktarda bulunduğunda, neden değişmediğini açıklayınız.

55. Silisyumun enerji engeli, ΔE 110kJ/mol dür. Silisyumda değerlik bandından iletkenlik bandına bir elektronu fırlatmak için gereken ışığın dalga boyu en az ne olmalıdır? Bu ışık, elektromanyetik spektrumun hangi bölgesindedir?

56. Şekil 11-40 daki güneş pilinin neden tek bir dalga boyu yerine geniş bir dalga boyu aralığında çalıştığını açıklayınız (Kuantum etkilerinde olduğu gibi).

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

57. N_2 nin Lewis yapısı N ve N arasında bir üçlü bağ gösterir. Başka kanıtlar da bu moleküldeki σ bağının, *sp* melez orbitallerinin örtüşmesiyle oluştuğunu göstermektedir.

(a) N_2 deki bağ oluşumunu, N atomlarının orbital diyagramlarını çizerek gösteriniz.

(b) Bu bağ oluşumu, N atomlarının sp^2 mi yoksa sp^3 melezleşmesiyle mi tanımlanabilir? N_2 deki bağ oluşumu melezleşmemiş orbitallerle tanımlanabilir mi? Açıklayınız.

58. Gaz halinde kovalent bağlı Na_2 molekülünün oluşabileceğini hem değerlik-bağ yöntemi, hem de molekül orbital kuramı ile gösteriniz. Na_2 Lewis kuramıyla açıklanabilir mi?

59. Spektroskopi ile uğraşan bir grup araştırmacı, NeF, NeF^+ ve NeF^- moleküllerinden birinin spektroskopik olarak gözlenebileceğine inanmaktadır. Şekil 11-26 daki diyagramların uygulandığını varsayarak, bu moleküllerde bağ oluşumunu açıklayınız. Bu moleküllerden hangisinin spektroskopik olarak gözlenmesini beklersiniz?

60. K_2O iyonik bileşiğindeki bağlanmanın açıklanmasına Lewis kuramı yeterlidir. Ancak bu kuram iyonik potasyum süperoksit, KO_2 ve potasyum peroksit, K_2O_2 bileşiklerinin oluşumunu kolayca açıklayamaz.

(a) Bu tespitin molekül orbitali kuramı ile yapabildiğini gösteriniz.

(b) Bu tespite uygun Lewis yapılarını yazınız.

61. Potasyum seskuoksit bileşiğinin kaba formülü K_2O_3 dür. Bu bileşiğin, potasyum, peroksit ve süperoksit iyonlarının uygun bir bileşimiyle tanımlanabileceğini gösteriniz. Bileşiğin birim formülü için Lewis yapısı yazınız.

62. Üre, $CO(NH_2)_2$, molekülünün Lewis yapısını yazınız ve geometrik şeklini VSEPR kuramıyla öngörünüz. Gerçekte bu molekülün tüm atomları aynı düzlemdedir ve tüm açıları 120° dir. Bu bilgiye göre öngörünüzü yeniden gözden geçiriniz. Bu deneysel gözlemlere uygun bir melezleşme ve bağlanma şeması öneriniz.

63. Metil nitrat, CH_3NO_3, roketlerde itiÖ olarak kullanılır. Molekülün iskelet yapısı CH_3ONO_2 dir. N ve üç O atomu aynı düzlemdedir, fakat CH_3 grubu NO_3 grubu ile aynı düzlemde değildir. C —O—N bağ açısı 105° ve O—N—O bağ açısı 125° dir. Bir N—O bağ uzunluğu 136 pm, diğer ikisi ise 126 pm dir.

(a) Molekülün, geometrik şeklini gösteren bir taslak çiziniz.

(b) Moleküldeki tüm bağları σ ya da π olarak işaretleyiniz ve olası orbital örtüşmelerini gösteriniz.

(c) Bütün N—O bağ uzunluklarının neden aynı olmadığını açıklayınız.

64. Flor nitrat, $FONO_2$, roket itiÖ olarak kullanılan bir yükseltgendir. FO_aNO_2 için aşağıdaki veriler bir kaynaktan alınmıştır (O_a diğer iki oksijenden ayırmak için kullanılmıştır).

Bağ uzunlukları: N — O = 129 pm; N — O_a = 139 pm; O_a — F = 142 pm

Bağ açıları: O — N — O= 125°;

F — O_a — N = 105°

NO_aF düzlemi O_2NO_a düzlemine diktir.

Bu verileri kullanarak, bir Lewis yapı ya da yapılarını, molekülün üç boyutlu bir taslağını, melezleşme ve orbital örtüşmelerini gösteren uygun bir bağlanma şeması yazınız.

65. Nitrit iyonu, NO_2^-, için Lewis yapıları yazınız. Sonra bu iyonda σ ve π bağlanmalarının bağ oluşumu şemasını çiziniz. Bu iyonda π molekül orbitallerinin sayısı ve Önsi hakkında ne söyleyebilirsiniz? Açıkaynız.

66. Aşağıdaki tepkimenin, ClF_2^+ ve AsF_6^- iyonlarını vermek üzere, ClF_3 ve AsF_5 arasında bir florür iyonu transferi içerdiğini düşününüz. Bu olayda merkez atomlarının melezleşme şemaları değişmelidir. Tepkimedeki her molekül ve iyon için, (a) geometrik yapıyı ve (b) merkez atomları için melezleşme şemalarını gösteriniz.

$$ClF_3 + AsF_5 \longrightarrow (ClF_2^+)(AsF_6^-)$$

67. Gaz halindeki HNO_3 moleküllerinin iki N—O bağ uzunlukları 121 pm ve 140 pm dir. Bu bilgiye uygun Lewis yapısı ya da yapıları yazınız ve Şekil 11-18 deki gibi bir bağlanma şeması öneriniz.

68. He_2, kararlı bir molekül olarak bulunamaz, fakat böyle bir molekülün elektronik olarak uyarılmış He atomları arasında oluşabileceğine ilişkin kanıtlar vardır. Buna ilişkin bir molekül orbital diyagramı yazınız.

69. Formamit ($HCONH_2$) molekülü, aşağıdaki yaklaşık bağ açılarına sahiptir: H — C — O, 123°; H — C — N, 113°; N — C — O, 124°; C — N — H, 119°; H — N — H, 119°. C — N bağ uzunluğu 138 pm dir. Bu molekül için iki Lewis yapısı yazılabilir ve gerçek yapı ikisinin rezonans melezidir. Her yapı için bir melezleşme ve bağlanma şeması yazınız.

70. Piridin (C_5H_5N) vitamin ve ilaçların sentezinde kullanılır. Piridin molekülü, benzen molekülündeki bir CH biriminin bir N atomu ile yerdeğiştirmesi sonucu oluşmuş gibi düşünülebilir. Piridinde σ ve π bağları oluşumunda kullanılan C ve N atomlarının orbitallerini gösteren orbital diyagramlarını çiziniz. Kaç tane bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı π-tipi molekül orbitali vardır? Kaç tane delokalize elektron vardır?

71. Karşıt bağlayıcı molekül orbitallerinin karakteristik özelliklerinden biri, bir düğüm düzlemlerinin olmasıdır. Bu bölümde incelenen bağlayıcı molekül orbitallerinden hangilerinin düğüm düzlemleri vardır? Bir düğüm düzlemi olan bir molekül orbitalinin nasıl olup da bağlayıcı molekül orbitali olabildiğini açıklayınız.

72. F_2Cl^- iyonu çizgiseldir, fakat F_2Cl^+ açısaldır. Merkez Cl atomu için yapıdaki bu farklılıklarla uyumlu olan melezleşme şemaları gösteriniz.

73. Etil siyanoasetat, boyarmaddelerin ve ilaçların sentezinde kullanılan kimyasal bir bileşiktir, kütle bileşimi: %53,09 C, %6,24 H, %12,39 N ve %28,29 O dir. Bu bileşik için Şekil 11-18 deki gibi bir bağlanma şeması yazınız. Şema, orbital örtüş-

melerini, σ ve π bağlarını ve beklenen bağ açılarını göstermelidir.

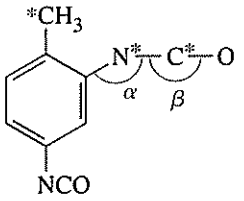
74. Polimer üretiminde kullanılan bir monomer bir azot atomu içermektedir ve kütlece bileşimi: %67,90 C, %5,70 H ve %26,40 N dur. Bu molekülün olası geometrik yapısını beklenen bağ uzunlukları ve bağ açılarını da göstererek çiziniz.

75. Güneş enerjisini elektrik enerjisine %15 verimle dönüştüren bir güneş pili, güneş ışığına maruz bırakıldığında 1,00 kW/m^2 lik bir enerji akımı oluşturmaktadır. Eğer hücrenin alanı 40,0 cm^2 ise,

(a) Hücrenin elektrik gücü kaç watt dır?

(b) Eğer (a) da hesaplanan güç 0,45 V da oluşuyorsa, hücre ne kadar akım verir?

76. Toluen-2,4-diizosiyanat, poliüretan köpüklerin üretiminde kullanılır. Yapısal formülü aşağıda verilmiştir. İşaretlenmiş atomlar için melezleşme şeması tanımlayınız, α ve β açılarının değerlerini belirtiniz.



77. I_4^{2-} anyonu çizgisel, I_5^- anyonu ise 95° lik bağ açısıyla V-şekline sahiptir. Bu iyonlarda, merkez atomlarının bu gözlemlerle uyumlu melezleşme şemalarını belirtiniz.

78. Pentadien (C_5H_8) molekülünün iki ikili bağın konumuna bağlı olarak, üç izomeri vardır. Bu izomerlerin şeklini VSEPR kuramını kullanarak belirleyiniz. Bu moleküllerdeki bağlanmayı değerlik bağ yöntemiyle açıklayınız. İki kuramla belirlenen molekül şekilleri birbiriyle uyuşuyor mu? Bu moleküllerden hangisinin bir delokalize π sistemi içerdiğine, molekül orbital kuramını kullanarak karar veriniz. Molekül orbitallerini ve enerji düzeyi diyagramını çiziniz.

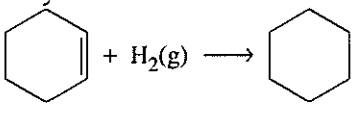
79. Bir konjüge hidrokarbonda almaşık olarak düzenlenen ikili ve tekli bağlar vardır. 1,3,5-Heksatrien'in π sisteminin molekül orbitallerini çiziniz. Bir elektronun HOMO'dan LUMO'ya uyarılması için gereken enerji 256 nm lik bir dalga boyuna karşılık gelirse, 1,3,5,7-oktatetraen'de aynı uyarılmaya karşılık gelen dalga boyunun daha mı uzun yoksa daha mı kısa olmasını beklersiniz?

Özellikli Sorular

80. Rezonans enerjisi, gerçek molekül (bir rezonans melezi) ile ona en çok katkıda bulunan yapı arasındaki enerji farkıdır. Benzenin rezonans enerjisini belirlemek için benzenin enerjisini ve Kekulé yapılarından birinin enerjisini saptayabiliriz. Rezonans enerjisi bu iki enerji arasındaki farktır.

(a) Sıvı benzenin sıvı sikloheksana hidrojenlenme entalpisini Ek D deki verilerden yararlanarak belirleyiniz.

(b) Sıvı sikloheksenin sıvı sikloheksana hidrojenlenme entalpisini Ek D deki verilerden yararlanarak belirleyiniz.



Sıvı sikloheksen'in oluşum entalpisi $\Delta H_{ol}^\circ = -38{,}5$ kJ/mol dür.

(c) 1, 3, 5-Sikloheksatrienin entalpisini sikloheksen'inkinin üç katı olduğunu varsayarak, benzenin rezonans enerjisini hesaplayınız.

(d) Rezonans enerjisini belirlemek için başka bir yol, bağ enerjilerinden yararlanmaktır. Benzenin Kekulé yapısındaki tüm bağların kırılması için gereken toplam entalpi değişimini, Çizelge 10.3 (sayfa 435) deki bağ enerjilerinden hesaplayınız. Daha sonra, Çizelge 10.3 ve Ek D deki verileri kullanarak, $C_6H_6(g)$ nın gaz halindeki atomlarına ayrışmasındaki entalpi değişimini bulunuz. En son olarak da benzenin rezonans enerjisini hesaplayınız.

81. Evlerde çok kullanılan 60-devirli alternatif elektrik akımı (AC) saniyede 120 kez yön değiştiren akımdır. Şöyle ki, bir saniyelik zaman aralığında, elektrik telinin kablo ucu 60 kez pozitif, 60 kez de negatif olur. Doğru akımda (DC) ise uçlar arasındaki akım sadece tek yönde olur. Bir doğrultmaç alternatif akımı doğru akıma çevirir. Doğrultmaçların çalışması için bir *p*-tipi yarı iletken ile *n*-tipi yarı iletken bir sınır ya da kavşak boyunca temas ettirilir. Her yarı iletken bir AC elektriksel akımının çıkış uçlarından birine bağlanır. Bu doğrultmacın nasıl çalıştığını açıklayınız. Yarı iletkenlerin bir AC elektriksel akımının uçlarından birine bağlandığında, zamanın yarısında büyük bir yük akışı olduğunu, diğer yarısında ise esas olarak *p-n* kavşağı boyunca yük akışı olmadığını gösteriniz.

82. Furan, C_4H_4O, yulaf kabuğu, mısır koçanı ve başka selülozik atıklardan elde edilebilen bir bileşiktir. İlaçlar ve bitki zararlılarına karşı kullanılan kimyasal bileşiklerin sentezinde kullanılan başlangıç bileşiğidir. Furan molekülü düzlemseldir ve C ve O atomları beş üyeli bir beşgen halkanın üyeleridir. H atomları C atomlarına bağlıdır. Molekülün kimyasal davranışı, birçok rezonans yapısının bir melezi olduğunu göstermektedir. Bu yapılarda, ikili bağ karakterinin bir π elekron bulutu halinde bütün halkayı kapsayacak şekilde yayıldığı görülmektedir.

(a) Yukarıda sözedilen rezonans melezine katkıda bulunan yapıların Lewis formüllerini yazınız.

(b) Furanda σ ve π bağlarının oluşumunda kullanılan orbitalleri gösteren orbital diyagramları çiziniz. [*İpucu:* Katkıda bulunan yapılardan for-

mal yük içermeyen tek bir yapıyı kullanınız].

(c) Furan molekülünde kaç tane π elektronu vardır. π elektronları sayısının, formal yük içermeyen yapılarda aynı olduğunu gösteriniz.

83. Sayfa 457 de Merak Ediyorsanız... kısmında tartıştığımız gibi, *sp* melez orbitalleri σ ve π orbitallerinin cebirsel işlemleri sonucu oluşuyordu. 2*s* ve 2*p* orbitallerinin gereken bileşimleri aşağıdadır.

$$\psi_1(sp) = \frac{1}{\sqrt{2}}[\psi(2s) + \psi(2p_z)]$$

$$\psi_2(sp) = \frac{1}{\sqrt{2}}[\psi(2s) - \psi(2p_z)]$$

(a) Çizelge 8.1 de verilen uygun fonksiyonları birleştirerek, yukarıdaki fonksiyonların herbiri için *xz* düzleminde Şekil 8-26 deki gibi bir polar eğri oluşturunuz. Polar eğride, r/a_0 değeri, sabit bir değer (örneğin, 1) için oluşturulur. Melez orbitallerin şekillerini ve farklı kısımlarının fazlarını belirtiniz ve Şekil 11-11 de gösterilenlerle karşılaştırınız.

(b) $2p_x$ ya da $2p_y$ orbitallerini kullanarak aynı işlemleri yaptığınızda benzer, fakat farklı yönde uzanan melez orbitaller elde edeceğinizi gösteriniz.

(c) *xy* düzleminde sp^2 melez orbitalleri için işlemler aşağıda verilmektedir.

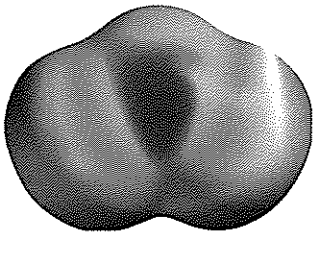
$$\psi_1(sp^2) = \frac{1}{\sqrt{3}}\psi(2s) + \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\psi(2p_x)$$

$$\psi_2(sp^2) = \frac{1}{\sqrt{3}}\psi(2s) - \frac{1}{\sqrt{6}}\psi(2p_x) + \frac{1}{\sqrt{2}}\psi(2p_y)$$

$$\psi_3(sp^2) = \frac{1}{\sqrt{3}}\psi(2s) - \frac{1}{\sqrt{6}}\psi(2p_x) - \frac{1}{\sqrt{2}}\psi(2p_y)$$

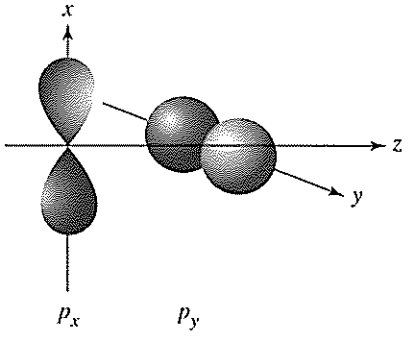
xy düzleminde polar eğriler çizerek, bu fonksiyonların Şekil 11-9 da verilen sp^2 melezine eşdeğer olduğunu gösteriniz.

84. 10. konuda, elektronegatiflik farklarının bir molekülde bağ dipollerinin varlığını belirlediğini, molekül biçiminin de bağ dipollerinin birbirini yok etmesi (polar olmayan moleküller) ya da bileşkelerinin bir dipol moment oluşturması ile (polar moleküller) belirlendiğini görmüştük. Buna göre, ozon molekülünde (O_3) tüm atomlar aynı olduğu için bağ dipolleri yoktur. Ancak, O_3 bir dipol momente sahiptir: $\mu = 0{,}534$ D. Ozon'un elektrostatik potansiyel haritasını kullanarak, dipolün yönüne karar veriniz. Bu elektrostatik potansiyel haritasını moleküllerde delokalize bağ oluşumunu kullanarak, açıklayabilir misiniz?



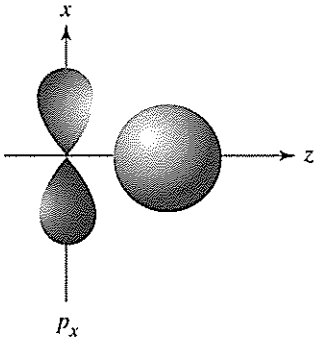
85. Borazin'in ($B_3N_3H_6$) yapısı benzenin yapısına benzediği için çoğu kez inorganik benzen adını alır. Borazin'in de benzen gibi delokalize bir π sistemi vardır. π sisteminin molekül orbitallerini belirleyiniz. HOMO ve LUMO orbitallerini belirtiniz. LUMO'da kaç düğüm vardır?

86. Aşağıdaki orbital birleşmelerinden hangi bağlayıcı molekül orbitalleri oluşur? Oluşan bağlayıcı orbitalleri *s* ya da *p* olarak belirtiniz.



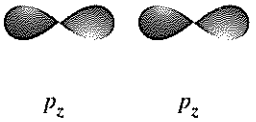
p_x p_y

(a)



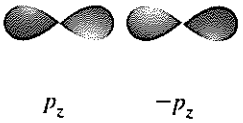
p_x

(b)



p_z p_z

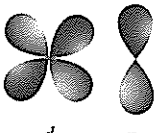
(c)



p_z $-p_z$

(d)

(b)



d_{xz} p_x

(e)

87. HF için bir molekül orbital diyagramı oluşturunuz ve molekül orbitalleri bağlayıcı, karşıt bağlayıcı ya da bağlayıcı olmayan orbital olarak işaretleyiniz.

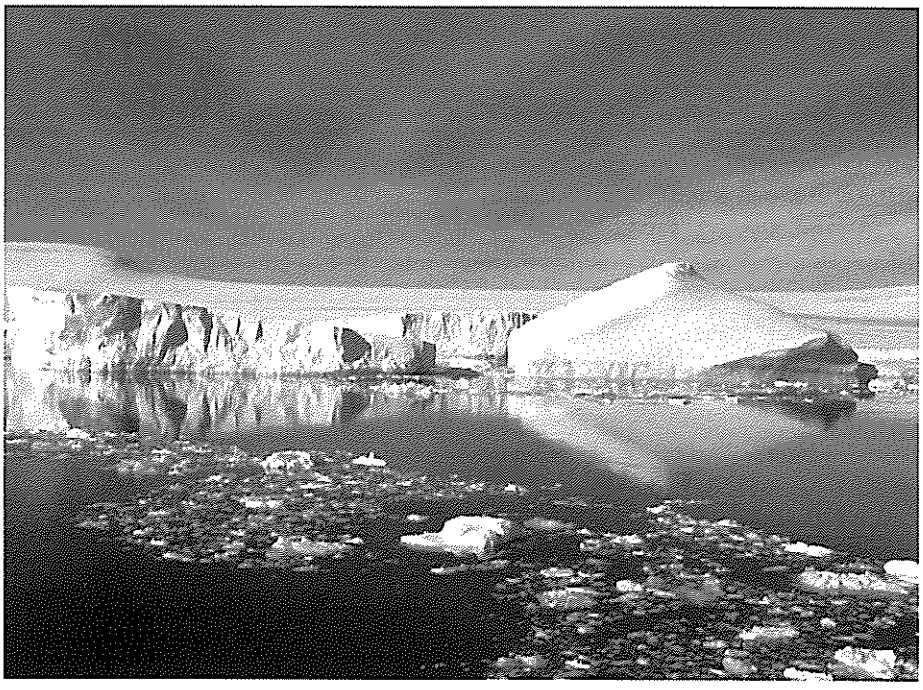
Kendi Kendini Deneme Soruları

88. Aşağıdaki terim ve simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız. (a) sp^2; (b) σ^*_{2p} (c) bağ derecesi; (d) π bağı.
89. Aşağıdakileri kısaca tanımlayınız. (a) atom orbitallerinin melezleşmesi; (b) σ-bağı iskeleti; (c) benzen, (C_6H_6) Kekulé yapıları; (d) metal bağlanmasında band kuramı.
90. Her terim çifti arasındaki önemli farkları açıklayınız, (a) σ ve π bağları; (b) lokalize ve delokalize elektronlar; (c) bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı molekül orbitalleri; (d) metal ve yarıiletken.
91. Aşağıdakilerden hangisinde merkez atomunun sp^2 melezleşmesi yapmasını beklersiniz? Açıklayınız. (a) PCl_5 (b) N_2 (c) SO_2 (d) He_2
92. H_2Se molekülünde ölçülen bağ açısı için: (a) 109° ile 120° arasındadır; (b) H_2S' dekinden küçüktür; (c) H_2S'den küçük, fakat 90° den küçük değildir; (d) 90° den küçüktür.
93. Aşağıdakilerden hangisinde merkez atomunun melezleşme şeması bir *d* orbitalinin katkısıyla oluşur? (a) I_3^-; (b) PCl_3; (c) NO_3^-; (d) H_2Se
94. Aşağıdakilerden hangilerinde bağ derecesi 1 dir? (a) H_2^+; (b) Li_2; (c) He_2; (d) H_2^-
95. XeF_2 de Xe'un melezleşme şeması aşağıdakilerden hangisidir? (a) *sp*; (b) sp^3; (c) sp^3d; (d) sp^3d^2
96. Aşağıdakilerden hangileri delokalize molekül orbitali içerir? (a) H_2; (b)HS^- (c) CH_4; (d) CO_3^{2-}
97. Aşağıdakilerden hangisi elektriği en iyi iletir? (a) Li(k); (b)Br_2(s); (c) Ge(k); (d) Si(k)
98. Değerlik ve iletkenlik bandları örtüşen bir bileşik hangisidir? (a) Yarıiletken; (b) metalimsi; (c) metal; (d) yalıtkan.
99. BF_3 molekül yapısı niçin σ ve π orbitallerinin doğrudan örtüşmesiyle tam olarak açıklanamaz?
100. BrF_5 molekülünün bağ oluşumundan neden sp^3d melezleşmesi olmaz? Melezleşme şeması nedir? Açıklayınız.
101. CH_3NCO molekülünde (a) σ bağlarının ve (b) π bağlarının toplam sayısı nedir?
102. Aşağıdakilerden hangileri paramanyetiktir? (a) B_2; (b) B_2^-; (c) B_2^+, En kuvvetli bağ hangisindedir?
103. Değerlik molekül orbital dağılımını kullanarak, aşağıdakilerden hangisinin en düşük iyonlaşma enerjisine sahip olduğunu belirtiniz. (a) C_2^+; (b) C_2; (c) C_2^-
104. Değerlik molekül orbitali elektron dağılımını kullanarak, aşağıdakilerden hangisinin en büyük elektron ilgisine sahip olduğunu belirtiniz. (a) C_2^+; (b) Be_2; (c) F_2; d) B_2^+
105. İki atomlu moleküller olan Li_2 ve C_2 den hangisinin bağ enerjisi daha büyüktür? Açıklayınız.
106. Değerlik bağ kuramını açıklayan bir kavram haritası oluşturunuz.
107. Molekül orbital kuramını açıklayan bir kavram haritası oluşturunuz.
108. Rezonans yapılarının belirtilmesinde değerlik bağ kuramı ile molekül orbital kuramı arasındaki ilişkiyi açıklayan bir kavram haritası oluşturunuz.

12 Moleküller Arası Kuvvetler: Sıvılar ve Katılar

İÇİNDEKİLER

12-1 Moleküller Arası Kuvvetler
12-2 Sıvıların Bazı Özellikleri
12-3 Katıların Bazı Özellikleri
12-4 Faz Diyagramları
12-5 Ağörgülü Kovalent Katılar ve İyonik Katılar
12-6 Kristal Yapılar
12-7 İyonik Kristallerin Oluşumunda Enerji Değişimleri



Antartika'nın bu görünümünde su, maddenin üç halinde de bulunmaktadır: buzdağında katı, denizde sıvı ve atmosferde gaz. Katılar, sıvılar ve gazlar Bölüm 1 de (Şekil 1-7) makroskopik ve mikroskopik düzeylerde karşılaştırılmıştır.

▶ Doğal olaylardan ikisi, yani katıların sıvılara göre daha düzenli olması ile fiziksel haline göre maddenin yoğunluğunun değişimi, bu bölümde açıklanacaktır.

Buzdolabındaki bir buz kalıbında buz küpleri elde ederken, soğutulan su molekülleri enerji vererek gittikçe yavaşlarlar. Sonunda moleküller arası çekim kuvvetleri egemen hale gelir ve su, buz halinde katılaşır. Buz parçası erirken, su molekülleri çevresinden enerji alır, bu enerji buz parçası içindeki moleküller arası kuvvetlere üstün gelir ve buz sıvı hale geçer. Gazları incelerken, bilinçli olarak, moleküller arası kuvvetlerin çoğu kez ihmal edilebilir düzeyde olduğunu kabul etmiştik. Bu yaklaşım, gazların ideal gaz denklemiyle ifade edilebilmesini ve davranışlarının kinetik-moleküler gaz kuramıyla açıklanmasını sağlamıştı. Maddenin diğer halleri olan sıvı ve katıların incelenmesinde ise gazların tersine özellikle moleküller arası kuvvetlerin önemli olduğu koşulları tartışacağız. Böylece sıvı ve katıların bu kuvvetlere bağlı olarak bazı ilginç özelliklerini ele alacağız.

12-1 Moleküller Arası Kuvvetler

Gazları incelerken, yüksek basınç ve düşük sıcaklıklarda moleküller arası kuvvetlerin gazları ideallikten saptırdıklarını belirtmiştik. Bu kuvvetler yeterli bir düzeye ulaştığında gaz (sıvı hale) yoğunlaşır. Yani, moleküller arası kuvvetler, bu molekülleri, belli bir hacimde kalacak yakınlıkta tutar.

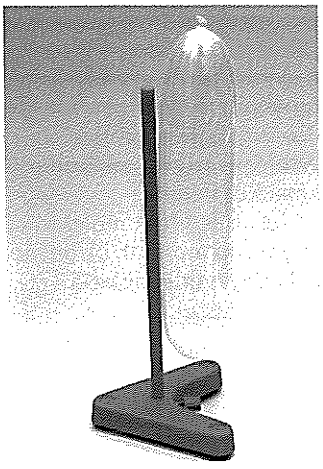
Moleküller arası kuvvetler maddenin fiziksel halini ve davranışını tayin etmek açısından önemlidir. Moleküller arası kuvvetlerin, dolayısıyla moleküller arası etkileşimlerin kaynağı, molekülde kalıcı veya geçici olarak meydana gelen düzensiz elektron yoğunluğu dağılımlarıdır.

Van der Waals Kuvvetleri

Helyum kararlı kimyasal bağ oluşturamadığından, mutlak sıfır (0 K) sıcaklığına kadar gaz halinde kalmasını bekleyebiliriz. Oysa helyum çok düşük sıcaklıklara kadar gaz halde kalmasına karşın, 4 K de yoğunlaşır ve 1 K de (25 atm basınçta) donar. Bu veriler, He atomları arasında, çok zayıf da olsa, moleküller arası kuvvetlerin bulunduğunu göstermektedir. Eğer sıcaklık yeterince düşükse bu kuvvetler ısıl dalgalanmayı bastırabilir ve helyumun yoğunlaşmasına yol açar. Bu kesimde, **van der Waals kuvvetleri** olarak bilinen moleküller arası kuvvetleri inceleyeceğiz. Bu kuvvetler, ideal olmayan gazlar için türetilen van der Waals denkleminde (eşitlik 6.26), $a(n/V)^2$ terimine katkıda bulunan kuvvetlerdir.

Anlık ve İndüklenmiş Dipoller

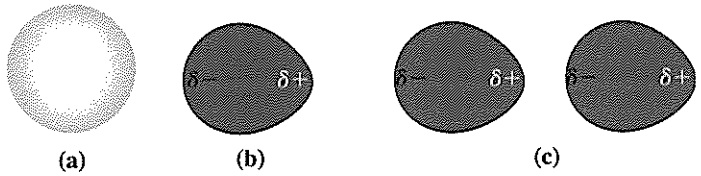
Maddelerin elektron yapısını açıklarken, belli bir anda belirli bir bölgede elektron yük yoğunluğundan ya da olasılığından sözederiz. Belli bir anda (tümüyle şans eseri olarak) elektronların bir atomun ya da molekülün bir bölgesine yığılması olasılığı vardır. Elektronların böyle hareket etmesi, normal olarak apolar olan bir molekülün polarlaşmasına yol açar, ve *anlık dipol* oluşur. Yani molekül geçici bir dipol momente sahiptir. Bu olaydan sonra komşu atom ya da moleküldeki elektronlar da yer değiştirerek dipol oluşturur. Bu bir indükleme olayıdır (Şekil 12-1) ve oluşan yeni dipole *indüklenmiş dipol* denir.



▲ ŞEKİL 12-1
İndüklenme
Balonun yüzeye doğru çekilmesi indüklenmenin çok iyi bilinen bir örneğidir. Balon sürtünmeyle yüklenir ve destek materyalinin yüzeyinin zıt yükle yüklenmesine (indüklenmesine) yol açar (Bakınız Ek B).

Bu iki olay, moleküller arası çekim kuvvetleri oluşmasına yol açar (Şekil 12-2). Buna biz anlık dipol-indüklenmiş dipol çekimi diyebiliriz, fakat yaygın olarak kullanılan adlar **dağılma kuvveti** ya da **London kuvveti**dir. (1928 de Fritez London bu kuvvetleri açıklamak için bir kuram önermiştir.)

Bir atom ya da molekülün yük dağılımı eğilimini tanımlamak için **kutuplanabilirlik** (polarlanabilirlik) terimi kullanılır. Bu eğilim arttıkça bir atom ya da molekülün daha çok kutuplanabilir olduğu söylenir. Kutuplanabilirlik, elektron bulutu hacmi olarak da tanımlanan atomik ya da moleküler büyüklük ile artar (yan sayfadaki çizelgeye bakınız). Bunun ne-



▲ ŞEKİL 12-2
Anlık ve indüklenmiş dipoller
(a) *Normal durum.* Apolar bir molekül simetrik yük dağılımına sahiptir. **(b)** *Anlık durum.* Elektronların yerlerini değiştirmeleri $\delta+$ ve $\delta-$ ile gösterilen yük ayrılmasına yolaçar ve bu da anlık bir dipol oluşturur. **(c)** *İndüklenmiş dipol.* Soldaki molekül üzerindeki anlık dipol, sağdaki molekülde yük ayrılmasını indükler. Sonuç ise anlık dipol-indüklenmiş dipol çekimidir.

UNUTMAYINIZ

Bir kovalent bağda pozitif ve negatif yük merkezlerinin farklı olması bağ dipolü oluşturur. Dipol moment (μ) büyüklüğü ve yönü hesaba katılan bağ dipollerinin toplamıdır. Polar bir molekül kalıcı bir net dipol momente sahiptir.

Bileşik	Kutuplanabilirlik*, 10^{-25} cm^3	Mol Kütlesi, akb	Kaynama Noktası, K
H_2	7,90	2,0158	20,35
O_2	16,0	31,9988	90,19
N_2	17,6	28,0134	77,35
CH_4	26,0	16,04	109,15
C_2H_6	44,7	30,07	184,55
Cl_2	46,1	70,906	238,25
C_3H_8	62,9	44,11	231,05
CCl_4	105	153,81	349,95

*Kutuplanabilirlik kimi zaman *kutuplanabilirlik hacmi* olarak ifade edilir. Burada kutuplanabilirlik birimi, hacim birimidir. Bu atom ya da molekül hacminin ölçüsüdür.

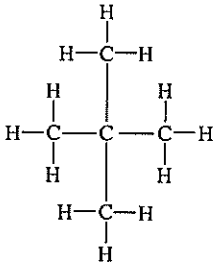
deni, büyük bir molekülde kimi elektronlar atom çekirdeğinden oldukça uzakta olduğundan gevşek tutulmalarıdır. Bu elektronlar kolayca hareket edebildiklerinden molekülün kutuplanabilirliği artar. Kutuplanabilirlik arttıkça dağılma kuvvetleride arttığından, kovalent bileşiklerin erime ve kaynama noktaları molekül kütlesiyle artmaktadır. Örneğin, 4 akb'lik molekül kütlesine sahip helyumun kaynama noktası 4 K iken, radonunki (atom kütlesi 222 akb) 211 K dir. Halojenlerin erime ve kaynama noktaları F_2, Cl_2, Br_2, I_2 sırasına göre artmaktadır (Çizelge 9.5 i anımsayınız).

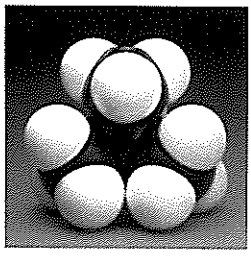
▶ Moleküler bileşikler moleküllerden oluşurlar (Bölüm 3). Moleküller birbiriyle zayıf moleküller arası kuvvetlerle etkileşirler. Oysa molekülü oluşturan atomlar, birbirine daha kuvvetli bağlarla tutunurlar.

Dağılma kuvvetlerinin şiddeti *molekül şekline* de bağlıdır. Zincir şeklinde olan bir moleküldeki elektronlar, küçük, sıkı ve simetrik bir moleküldeki elektronlardan daha kolay hareket eder. Bu nedenle, zincir molekül daha çok kutuplanabilir. Aynı tür ve sayıda atomlar içeren maddeler (izomerler), farklı molekül şekillerine ve farklı özelliklere sahip olabilirler. Bu durum Şekil 12.3 te gösterilmiştir.

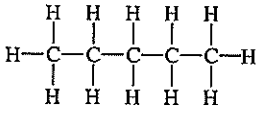
Dipol–Dipol Etkileşimleri

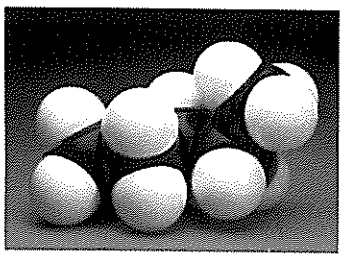
Polar bir bileşikte moleküller, bir dipolün pozitif ucu komşu dipollerin negatif ucuna yönelecek biçimde istiflenmek isterler (Şekil 12-4). Moleküllerin bu ilave düzenliliği, bir maddenin beklenenden daha yüksek sıcaklıklarda sıvı ve katı halde kalmasına yol açar. N_2, O_2 ve NO yu ele alalım. N_2 ve O_2 de elektronegatiflik farkı yoktur ve her ikisi de apolardır. Öte yandan NO te elektronegatiflik farkı vardır ve bu molekül küçük bir dipol momente sahiptir. Olaya yalnızca dağılma kuvvetleri açısından bakılsaydı, sıvı NO in kaynama noktasının sıvı N_2 ve sıvı O_2 in kaynama noktaları arasında olması beklenirdi. Fakat aşağıdaki karşılaştırmada böyle olmadığı görülüyor. Sıvı NO, kalıcı dipolden dolayı en yüksek kaynama noktasına sahiptir.





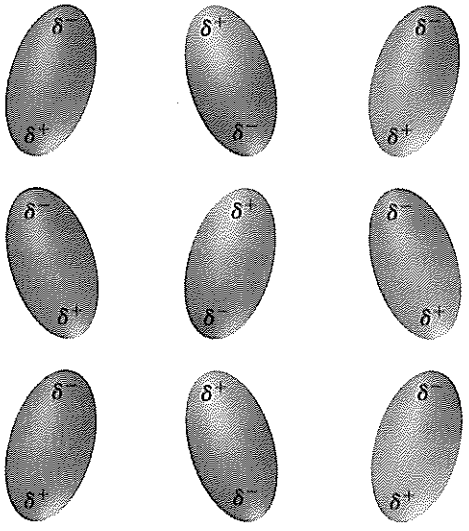
(a) Neopentan
kn = 9,5 °C





(b) Pentan
kn = 36,1 °C

▲ ŞEKİL 12-3
Molekül şekilleri ve kutuplanabilirlik
Düz zincirli pentan molekülü, sıkı (küresel) neopentan molekülünden daha kolay kutuplanır. Pentanda moleküller arası kuvvetler neopentandan daha kuvvetlidir. Sonuçta, pentan neopentandan daha yüksek sıcaklıkta kaynar.



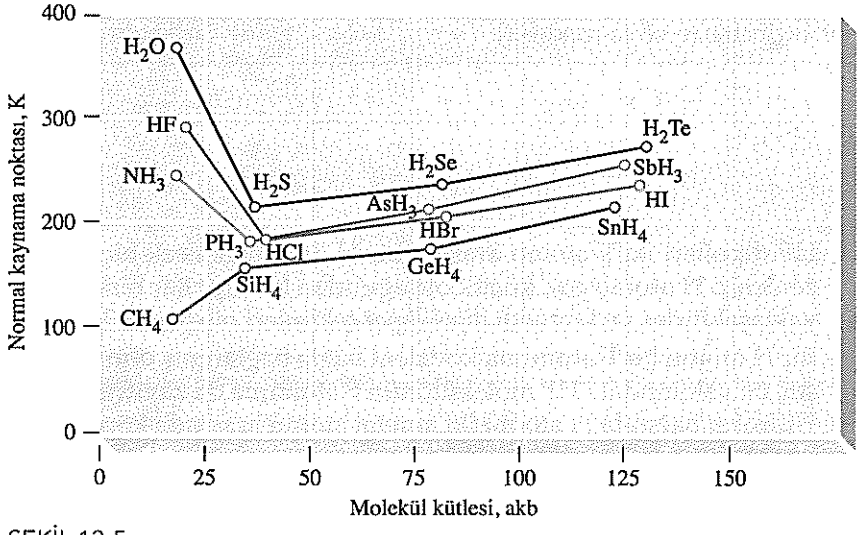
◀ ŞEKİL 12-4
Dipol–dipol etkileşimleri
Dipoller kendiliklerinden, bir dipolün pozitif ucu komşu dipolün negatif ucuna gelecek biçimde yönlenirler. Normalde ısıl hareketler bu düzenliliği bozar. Buna karşın dipollerin bu şekilde düzenlenme eğilimi, katıların erime ve sıvıların kaynama noktaları gibi fiziksel özelliklerini etkiler.

N_2	NO	O_2
$\mu = 0$ (apolar)	$\mu = 0{,}153$ D (polar)	$\mu = 0$ (apolar)
mol. kütlesi 28 akb	mol. kütlesi 30 akb	mol. kütlesi 32 akb
kn 77,34 K	kn 121,39 K	kn 90,19 K

◀ Dipol momentin SI birimi (C m), moleküler dipol momentleri belirtmek için uygun değildir. Bunun için genellikle, SI birimi olmayan debye (D) birimi kullanılır. Bir debye yaklaşık olarak $3{,}34 \times 10^{-30}$ C m' dir.

Hidrojen Bağı

Şekil 12-5 te bir dizi benzer bileşiğin kaynama noktaları molekül kütlelerine karşı grafiğe alınmıştır. Bu şekilde gösterilen bazı özellikler, şimdiye kadar ele aldığımız moleküller arası kuvvetlerle açıklanamaz. Şekildeki 14. grup elementlerinin hidrojen bileşikleri (hidrürleri) normal davranış göstererek, kaynama noktaları molekül kütleleriyle düzenli olarak artmaktadır. Ancak, üç elementin (N, O ve F) hidrürlerinin yani NH_3, H_2O ve HF bileşiklerinin kaynama noktaları, normalde beklendiği gibi diğer hidrürlerin kaynama noktalarından daha düşük değil, onlara eşit ya da daha yüksektir. Bu beklenmedik davranışın nedeni, Şekil 12-6 da HF örneği için gösterilen ve özel bir moleküller arası kuvvet olan, hidrojen bağlarıdır. Bu şekil ile ilgili olarak şu noktalar önemlidir.



▲ ŞEKİL 12-5
14, 15, 16 ve 17. Gruptaki elementlerin bazı hidrürlerinin kaynama noktalarının karşılaştırılması
NH_3, H_2O ve HF bileşiklerinin kaynama noktaları, gruplarındaki diğer elementlerin hidrürlerine göre oldukça yüksektir.

ÖRNEK 12-1 Polar ve Apolar Maddelerin Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması

Yakıt olarak kullanılan bütan (C_4H_{10}) ile organik bir çözücü olan asetondan [$(CH_3)_2CO$] hangisi daha *yüksek* kaynama noktasına (kn) sahiptir?

Analiz

İşe molekül kütlelerini karşılaştırarak başlayalım. Her iki madde de 58 akb lik molekül kütlesine sahip olduğundan, yanıtımızı başka etkenlere dayandırmak zorundayız.

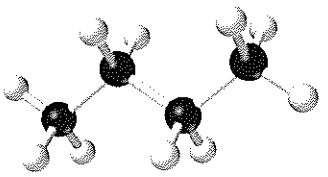
Şimdi hangi molekülün polar olduğuna bakalım. C ve H arasındaki elektronagatiflik farkı, genel olarak hidrokarbonları *apolar* kabul etmemizi haklı gösterecek kadar küçüktür. Aseton molekülü bir O atomu içerir ve kuvvetli karbon-oksijen bağ momenti bekleyebiliriz. Böyle durumlarda, bağ momentlerinin birbirini yok edici simetri özelliklerinin olup olmadığını görmek için molekülün yapı iskeletine gereksinim duyarız. Burada büyük bağ momentine sahip bir tek bağ olduğundan, aseton için böyle bir gereksinim yoktur. Sonuç olarak aseton bir dipol momente sahiptir ve *polar* bir moleküldür.

Çözüm

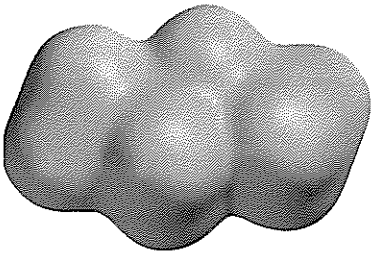
Aynı molekül kütlesine sahip biri polar öteki apolar iki maddeden polar olanın (aseton) yüksek kaynama noktasına sahip olmasını bekleyebiliriz. (Ölçülen kaynama noktaları bütan için –0,5 °C ve aseton için 56,2 °C)

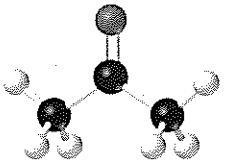
Değerlendirme

Genel olarak farklı maddelerin özelliklerini karşılaştırırken, farklı moleküller arası kuvvetleri ve bu kuvvetlerin her birini etkileyen etkenleri göz önüne almalıyız. Bu örnekte önemli olmamakla birlikte, molekül biçiminin rolünü görmek için, molekülün üç boyutlu geometrisi önemlidir. Onun için çoğu kez molekül yapısının iskeletini çizmek gerekir.

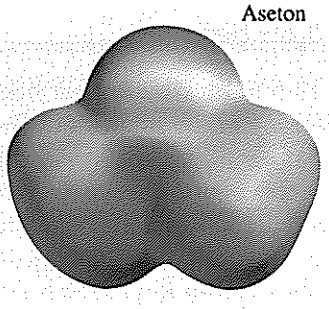


Bütan





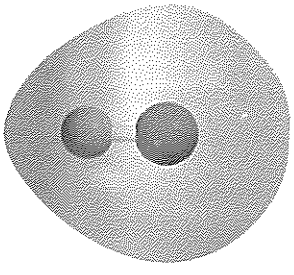
Aseton



▲ Bütan ve aseton
Top–çubuk modellerinin altındaki diyagramlar bütan ve asetonun elektrostatik potansiyel diyagramlarıdır. Kırmızı renk yüksek negatif elektrostatik bölgeleri göstermektedir.

ALIŞTIRMA A: Şu bileşiklerden hangisi en yüksek kaynama noktasına sahiptir: C_3H_8, CO_2, CH_3CN? Açıklayınız.

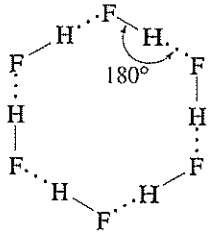
ALIŞTIRMA B: Aşağıdaki maddeleri beklenen kaynama noktalarının artışına göre sıralayınız: C_8H_{18}, $CH_3CH_2CH_2CH_3$, $(CH_3)_3CH$, C_6H_5CHO (sırasıyla oktan, bütan, izobütan ve benzaldehit).



▲ HF nin elektrostatik potansiyel haritası

- HF dipolleri iki F atomu arasına bir H atomu gelecek biçimde düzenlenir. H atomu çok küçük olduğundan bu dipoller birbirine çok yaklaşabilirler ve kuvvetli *dipol-dipol* çekimleri oluşturabilirler.
- Bir H atomu bir F atomuna kovalent bağla bağlanmış olmasına karşın, en yakınındaki HF molekülünün F atomuna da zayıfça bağlanır. Hidrojen bağında H atomu iki ametal atomu arasında köprü görevi yapar.
- Bir hidrojen köprüsüyle bağlanan iki F atomu arasındaki bağ açısı (yani, F — H · · · F açısı) yaklaşık 180° dolayındadır.

Açıklanan bu moleküller arası kuvvetler, kovalent bağ gibi gerçek bir kimyasal bağ olmayıp, basit elektrostatik çekim kuvvetleri olmalarına karşın, hidrojen bağı diye adlandırılırlar. **Hidrojen bağı**, yüksek elektronegatiflikte bir atoma bağlı bir hidrojen atomunun, komşu molekülün yüksek elektronegatiflikte bir atomu tarafından da eş zamanlı olarak çekildiğinde oluşur. Hidrojen bağı oluşumunda, H atomunun kovalent olarak bağlı bulunduğu yüksek elektronegatiflikteki atom, bağ elektronlarını kendine doğru çekerek, hidrojen çekirdeğini (proton) 'çıplak' bırakır. Elektronsuz kalan bu proton komşu moleküldeki elektronegatif atomun ortaklanmamış bir elektron çiftini çeker.

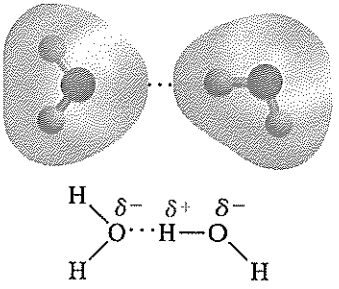


▲ ŞEKİL 12-6
Gaz halindeki HF de hidrojen bağları
Gaz haldeki HF de çok sayıda HF molekülü yukarıda gösterilen halkalı $(HF)_6$ yapısını oluşturur. Her H atomu bir F atomuna tekli kovalent bağ (—) ile ve ikinci bir F atomuna hidrojen bağı (· · ·) ile bağlanır.

Hidrojen bağı yalnızca hidrojen atomuyla oluşur, çünkü tüm öteki atomların çekirdekleri iç kabuk elektronları tarafından perdelenir. Hidrojen bağı oluşumu için gerekli koşulları yalnızca F, O ve N kolayca yerine getirir. Bir molekülün H atomu ile komşu molekülün Cl ya da S atomu arasında zayıf hidrojen bağları nadiren oluşur. Diğer moleküller arası kuvvetlerle kıyaslandığında hidrojen bağları daha kuvvetlidir; hidrojen bağı enerjileri 15-40 kJ/mol düzeyindedir. Oysa tekli kovalent bağlar hidrojen bağından çok daha güçlüdür (150 kJ/mol den daha yüksek bağ enerjisine sahiptirler). Diğer karşılaştırmalar için Çizelge 10.3'e bakınız.

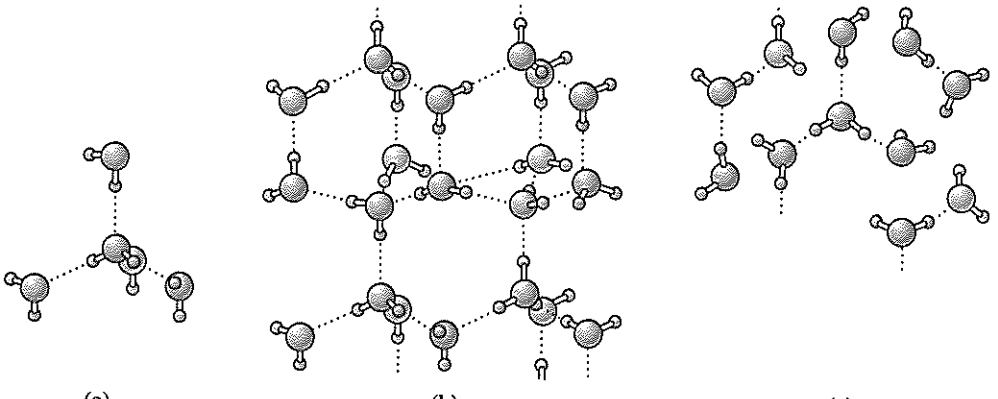
Suda Hidrojen Bağı

Bildiğimiz su hidrojen bağının oluştuğu başlıca ve en tanınmış bileşiktir. Şekil 12-7, bir su molekülünün, hidrojen bağları yardımıyla dört komşu su molekülüne düzgün dörtyüzlü bir yapı oluşturmak için nasıl tutunduğunu göstermektedir. Buzun yapısındaki hidrojen bağları, su moleküllerini esnek olmayan, ancak oldukça seyrek bir yapıda tutarlar. Buz eridikçe bu hidrojen bağlarının yalnızca bir bölümü kırılır. Bunun bir göstergesi, buzun göreceli düşük erime ısısıdır (6,01 kJ/mol). Bu enerji, erime sırasında tüm hidrojen bağlarını kırmak için gerekli olan enerjiden çok çok azdır.

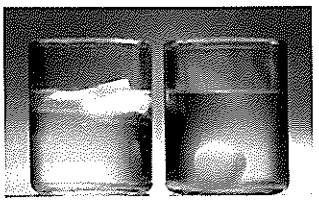


▲ **H_2O molekülleri arasındaki hidrojen bağı**

Şekil 12-7(b) de gösterilen buzun açık yapısı, buza düşük yoğunluk kazandırmaktadır. Buz eridiğinde bu hidrojen bağlarının bazıları kırılır ve



▲ ŞEKİL 12-7
Suda hidrojen bağları
(a) Her su molekülü diğer dört su molekülüne hidrojen bağlarıyla bağlanır. Bu düzenlenme bir düzgün dörtyüzlü oluşturur. Moleküller arası etkileşimde, her hidrojen atomu iki oksijen atomunu bir çizgi üzerinde bağlar, fakat bir oksijen atomuna (100 pm) diğerinden (180 pm) daha yakındır. **(b)** Buzun kristal yapısında, O atomları bir altıgen halka oluşturacak biçimde düzenlenir. H atomları iki oksijen atomundan birine daha yakındır. (Kağıt düzleminin arkasına düşen moleküller açık mavi ile gösterilmiştir.) Kar tanelerinin hekzagonal biçimde olmasının nedeni bu yapıdır. **(c)** Sıvı suda, moleküller yalnızca bazı komşularıyla hidrojen bağı oluştururlar. Bu durum, su moleküllerinin buzdakine göre daha sıkı paketlenmesini sağlar.



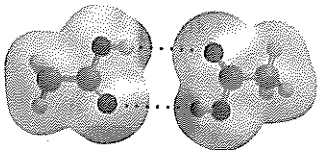
▲ ŞEKİL 12-8
Katı ve sıvı yoğunluklarının karşılaştırılması
Buz küpünün suda yüzmesi (solda) bilinen bir gözlemdir. Buzun yoğunluğu sıvı sudan daha düşüktür. Buna karşın genelde gözlenen durum parafin mumunun davranışıdır (sağda). Katı parafin sıvı parafinden daha yoğun olduğundan beherin dibine batar.

moleküllerin daha sık istiflenmesine olanak sağlayarak, yoğunluğun artmasına neden olur. Yani sıvı halde birim hacimdeki H_2O molekülleri katı haldekine göre artar.

Sıvı su, erime noktasının üstünde ısıtıldığından hidrojen bağları kırılmaya devam eder. Moleküller daha da sıkı yerleşir ve sıvı suyun yoğunluğu artar. Sıvı su 3,98 °C de maksimum yoğunluğa ulaşır. Bu sıcaklığın üstünde su "normal" davranışa döner ve yoğunluğu sıcaklıkla düşer. Tatlı su göllerinin üstten aşağıya doğru donmasının nedeni budur. Suyun sıcaklığı 4 °C nın altına düştüğünde, yoğun su gölün dibine giderken yüzeydeki daha soğuk su donar. Bu durumda gölün üstündeki buz, altındaki suyu daha fazla ısı kaybına karşı korumuş olmaktadır. Bu, kışın donan bir gölde balıkların yaşamlarını sürdürebilmelerini sağlar. Hidrojen bağları olmasa tüm göller dipten yukarıya doğru donar, balıklar ve küçük dip canlıları ile su bitkileri kışın yaşamlarını sürdüremezlerdi. Şekil 12-8 de sıvı su ve buz arasındaki bağıntı ile genelde gözlenen katı-sıvı ilişkileri karşılaştırılmıştır.

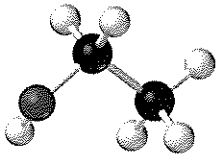
Hidrojen Bağının Etkilediği Diğer Özellikler

Sayısız başka örnekler de olmasına rağmen, özellikleri hidrojen bağı tarafından etkilenen maddelerin en çok bilineni sudur. Asetik asitte (CH_3COOH) hidrojen bağı hem sıvı hem de buhar halinde *dimer* (molekül çifti) oluşmasına yol açar (Şekil 12-9). Asetik asit buharlaştığında moleküller arasındaki hidrojen bağlarının hepsi kopmaz, bunun sonucu olarak da asetik asitin buharlaşma ısısı beklenmedik biçimde düşüktür.

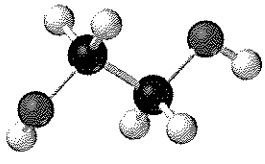


▲ ŞEKİL 12-9
Asetik asit dimeri
Hidrojen bağını gösteren elektrostatik potansiyel haritaları.

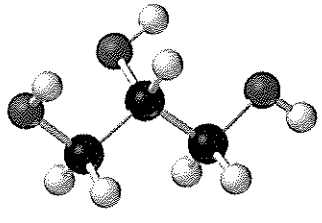
Vizkozitedeki değişimler de hidrojen bağları yardımıyla açıklanabilir. Bir alkol molekülünün —OH grubundaki H atomu, komşu alkol molekülünün O atomuyla hidrojen bağı oluşturabilir. Eğer tek bir alkol molekülde daha çok sayıda —OH grubu varsa bu daha çok hidrojen bağı demektir. Bu yüzden güçlü moleküller arası kuvvetlere sahip olan *polialkollerin* daha yavaş akması beklenir, yani monoalkollerden daha yüksek vizkoziteye sahiptirler. —OH grubu sayısı arttıkça bu eğiliminde artacağı ortadadır. Bu karşılaştırma üç tanıdık alkol için aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi yapılmıştır. (cP, centipoise'dir ve viskozitenin SI birimi 1 N s m^{-2} = 10 P. Viskozite eta, η simgesiyle gösterilir.)



Etil alkol
(etanol)
20°C de η = 1,20 cP



Etilen glikol
(1,2-etandiol)
20°C de: η = 19,9 cP

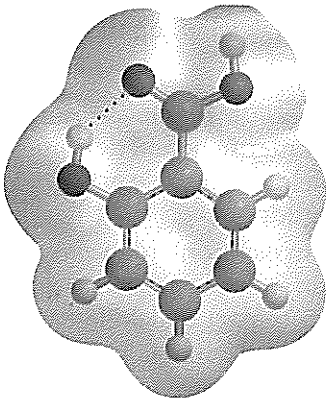


Gliserin
(1,2,3-propantriol)
20°C de: η = 1490 cP

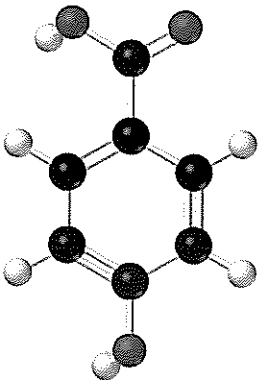
Moleküller *Arası* ve Molekül *İçi* Hidrojen Bağı

Buraya kadar ele alınan tüm hidrojen bağı örnekleri *iki molekül arasındaki* kuvvetleri kapsadığından, bunlara *moleküller arası hidrojen bağı* denir. Bir diğer olasılık ise aynı molekül üzerindeki elektronegatifliği yüksek bir atoma (örneğin O ya da N) kovalent bağla bağlanmış bir hidrojen atomunun, elektronegatifliği yüksek diğer bir atomla hidrojen bağı oluşturmasıdır. Bu tür hidrojen *bağı molekülün içerisinde* olduğundan, bu bağla-

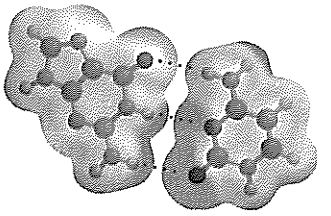
ra *molekül içi hidrojen bağı* denir. Aşağıda salisilik asidin molekül modelinde görüldüğü gibi, molekül içi hidrojen bağı (noktalı çizgiyle gösterilmiştir), —OH grubunu aynı moleküldeki —COOH grubunun çift bağlı oksijen atomuna bağlar. Molekül içi hidrojen bağı için gerekli koşulların oluşmasında molekül geometrisinin önemini vurgulamak için, salisilik asidin aşağıda yapısı verilen *para*–hidroksibenzoik asit izomerine bakmamız yeter. Bu molekülde —COOH grubunun H atomu, aynı grubun çift bağlı O atomuna hidrojen bağı oluşturmak için çok yakın olmasına rağmen, —OH grubu molekülün ters tarafındaki H atomuna çok uzaktadır. Bu durumda molekül içi hidrojen bağı oluşmaz.



▲ *Elektrostatik potansiyel haritası*, salisilik asitte molekül içi hidrojen bağının varlığını göstermektedir. Bazı bağların çift bağ karakteri top- çubuk modeli ile gösterilememiştir.



▲ *para*-hidroksibenzoik asitte molekül içi hidrojen bağı yoktur.

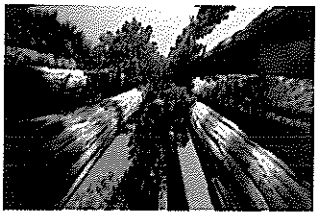


▲ DNA da guanin (solda) ve sitosin (sağda) arasında hidrojen bağları

Canlılarda Hidrojen Bağı

Canlılarda bazı kimyasal tepkimeler, protein ve DNA gibi karmaşık yapıları kapsar. Bu tepkimelerde belirli bağlar kolayca kopar ve yeniden oluşur. 27. Bölümde göreceğimiz gibi, enerji uygunluğu açısından hidrojen bağı bu tür tepkimeler için biçilmiş kaftandır. Bu karmaşık yapılarda hem molekül içi hemde moleküller arası hidrojen bağlarının yer aldığını göreceğiz.

Hidrojen bağı, bazı ağaçların nasıl çok yüksek boylara eriştiği bilmecesine de yanıt verecek gibi gözükmektedir. Bölüm 6 da (sayfa 181) hava basıncının su sütununu en çok 10 m yüksekliğe çıkarabileceğini öğrenmiştik. O halde, 100 m yükseklikteki bir kızılağacın tepesine suyu taşımak için başka etkenler olmalıdır. Ağaçlarda suyun yukarılara taşınmasında hidrojen bağları da rol oynayabilir. İnce su kanalları (odunsu dokuda) kökten ağacın tepesindeki yapraklara kadar uzanmaktadır. Bu kanallarda su molekülleri birbirlerine hidrojen bağlarıyla bağlı olup her su molekülü, kohezyon zincirinde bir halka gibidir. Yapraktan bir su molekülü buharlaştığında, diğer molekül onun yerini almak üzere hareket eder ve zincirdeki moleküller tümüyle yukarı bağlı olup çekilir. Bu süreçte kökten yeni bir su molekülü zincire katılır. Bir sonraki bölümde ağaçlarda suyun yukarı doğru taşınmasının bir diğer etkenini; membran boyunca suyu iten osmotik basıncı öğreneceğiz.



▲ Sekoya ağaçları
Bu ağaçlarda suyun yaklaşık yüz metre yüksekliklere çıkarabilmesinin gizi, hidrojen bağlarıyla açıklanabilir.

12-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Sıvı etilamin'de, $CH_3CH_2NH_2(s)$, hangi moleküller arası etkileşimler vardır ve en güçlüsü hangisidir?

ÇİZELGE 12.1 Bazı Bileşiklerde Moleküller Arası Kuvvetler ve Özellikler

	Molekül Kütlesi, akb	Dipol Moment, D	Van der Waals Kuvvetleri		ΔH_{buh}	Kaynama Noktası, K
			% Dağılma	% Dipol	kJ mol^{-1}	
F_2	38,00	0	100	0	6,86	85,01
HCl	36,46	1,08	81,4	18,6	16,15	188,11
HBr	80,92	0,82	94,5	5,5	17,61	206,43
HI	127,91	0,44	99,5	0,5	19,77	237,80

van der Waals Kuvvetlerinin Özeti

van der Waals kuvvetlerinin önemini kavramak için aşağıdaki ifadeleri iyi bilmeliyiz:

- *Dağılma (London) kuvvetleri bütün moleküller arasında vardır.* Bu kuvvetler moleküllerdeki bütün elektronların hareketlerinin sonucudur. Bu kuvvetlerin büyüklüğü molekül kütlesiyle artar ve aynı zamanda molekül geometrisine de bağlıdır.
- *Kalıcı dipol momentler* moleküldeki tüm elektronlardan ziyade bağlardaki elektron çiftlerinin hareketlerinin sonucudur. Kalıcı dipoller yalnızca bileşke dipol momentine sahip (polar) moleküllerde bulunur. Bunların varlığı mevcut dağılma kuvvetlerininin etkisini *arttırır.*
- *Molekül kütleleri birbirine yakın bileşikler karşılaştırıldığında* dipol momentin, erime noktası, kaynama noktası ve buharlaşma entalpisi gibi özelliklerde önemli farklar yarattığı görülür.
- *Molekül kütleleri çok farklı olan bileşiklerde* dağılma kuvvetleri, çoğu kez, dipol kuvvetlerinden daha önemlidir.

▶ London kuvvetlerini incelerken, mol kütlesini, sadece moleküldeki elektron sayısını belirtmek için kullandık. Bir sıvıda molekülleri bir arada tutan kuvvetlerin, kütle çekimiyle ilgisi yoktur.

Şimdi bu açıklamalara göre, Çizelge 12.1'de kabaca verilen van der Waals kuvvetlerinden dağılma ve dipol kuvveti bileşenlerinin ilişkisini görelim. HCl ve F_2 yaklaşık aynı molekül kütlelerine sahiptirler. Ancak, HCl polar olduğundan F_2 molekülüne göre oldukça büyük ΔH_{buh} ve kaynama noktasına sahiptir. HCl, HBr ve HI dizisinde molekül kütleleri belirgin olarak artar ve ΔH_{buh} ile kaynama noktaları da aynı sırayla (HCl < HBr < HI) değişir. HI molekülüne göre HCl ve HBr moleküllerinin daha polar olmaları, molekül kütlesi artışından doğan bu eğilimi ters çevirmek için yeterli değildir. (Bu maddelerde başlıca moleküller arası kuvvetler dağılma kuvvetleridir).

12-1 MERAK EDİYORSANIZ...

Başka moleküller arası kuvvetler var mıdır?

London dağılma kuvvetlerinden başka moleküller arası kuvvetler de vardır. Bunlar, dipol-dipol etkileşimleri ve hidrojen bağıdır. Çizelge 12.2 yaygın moleküller arası kuvvetleri ve ortalama değerlerini göstermektedir.

Çizelge 12.2'deki iyon ya da moleküller arasındaki en büyük kuvvetlerden biri, zıt yüklü iyonların (iyon-iyon) elektrostatik çekiminden doğar. İyonik katıların yüksek erime noktalarından ve kırılgan yapılarından bu tip moleküller arası kuvvetler sorumludur. Biyomoleküller gibi moleküllerde, tuz köprüleri olarak bilinen, farklı yüklü gruplar arasındaki etkileşimler bu moleküllerin kararlılıklarını artırır.

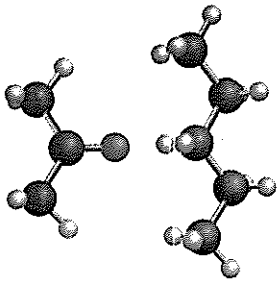
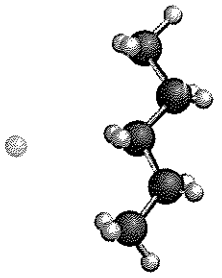
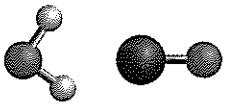
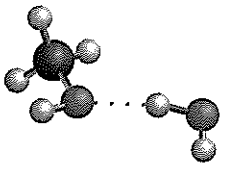
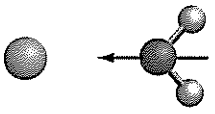
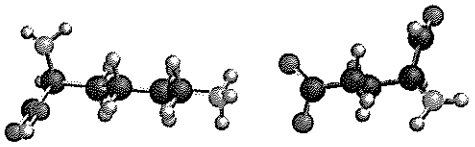
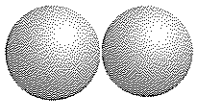
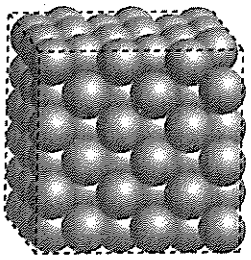
Bölüm11'de gördüğümüz gibi moleküller, atomlar arasındaki elektronegatiflik farkı yüzünden dipol momentlerine sahiptirler. Moleküldeki bu dipol momenti, yüklü bir iyon ile iyon-dipol etkileşimi oluşturur. İyon-dipol etkileşimleri, tuzların nasıl çözündüğünün anlaşılması için önemlidir.

Eğer bir molekülde yük ve dipol momentler yoksa, diğer yüksek dereceli momentler (örneğin kuadrupol momentleri) baskın hale gelir. Kuadrupol-kuadrupol etkileşimi iki CO_2 molekülü arasında oluşabilir.

UNUTMAYINIZ

Moleküller arası kuvvetler terimi, kovalent olmayan bir dizi etkileşim kümesini sınıflandırmak için kullanılmaktadır.

ÇİZELGE 12.2 Kovalent Olmayan Etkileşimlerin Özeti

Kuvvet	Enerji[a], kJ /mol	Örnek	Model
Moleküller arası			
London dağılma	0,05–40	$CH_4 \cdots CH_4$	
Dipol-indüklenmiş dipol	2–10	$CH_3(CO)CH_3 \ldots CH_5H_{12}$	
İyon-indüklenmiş dipol	3–15	$Li^+ \ldots C_5H_{12}$	
Dipol-dipol	5–25	$H_2O \ldots CO$	
Hidrojen bağı	10–40	$CH_3OH \ldots H_2O$	
İyon-dipol	40–600	$K^+ \ldots H_2O$	
İyon-iyon	400–4000	$Lys^+ \ldots Glu^-$	
Atomlar arası			
London dağılma	0,05–40	$Ar \ldots Ar$	
İyon-iyon	400–4000	$Na^+ \ldots Cl^-$	
Metalik	100–1000	$Ag \ldots Ag$	

[a]Bunlar gaz fazı değerleridir.



▲ ŞEKİL 12-10
Yüzey gerilimin bir etkisi
İğne, sudan daha yoğun olmasına karşın, su yüzeyinde kalmaktadır. Bu beklenmedik davranış yüzey geriliminden ileri gelir.

12-2 Sıvıların Bazı Özellikleri

Yüzey Gerilimi

Şekil 12-10 da gösterildiği gibi, iğnenin suda yüzmesi şaşırtıcıdır. İğnenin yapılmış olduğu çelik, sudan çok daha yoğundur ve normalde yüzmemelidir. O halde iğneyi su yüzeyinde tutmak için onun üzerindeki ağırlık kuvvetine karşı koyan bir şey olmalıdır. İğnenin yüzmesi, sıvı yüzeyinin özel bir niteliğiyle olanaklı hale gelmektedir.

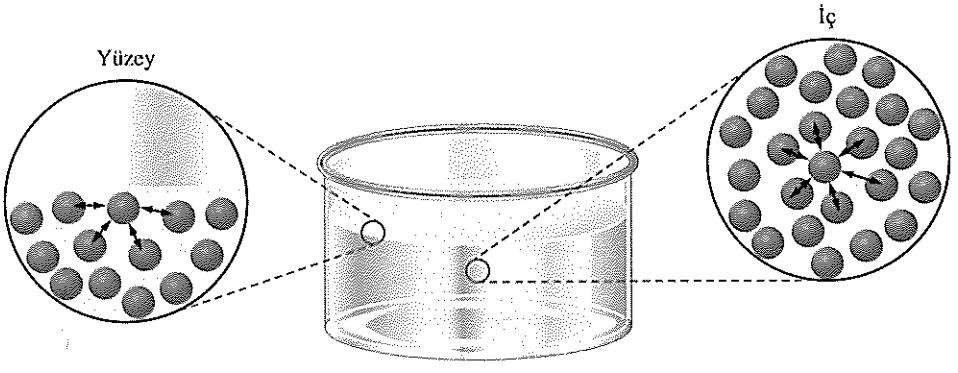
Şekil 12-11, sıvı içindeki ve sıvı yüzeyindeki moleküller arası kuvvetlerin önemli bir farkını göstermektedir: İçteki moleküller yüzeydekilere oranla kendilerini çeken daha çok komşuya sahiptirler. Komşu moleküllerin çekiminin bu şekilde artması, içteki molekülü yüzeydeki molekülden daha düşük bir enerji düzeyinde tutar. Sonuç olarak, olabildiğince çok molekül, sıvı içine gitmeye çalışır ve olabildiğince az molekül de yüzeyde kalır. Bu nedenle, sıvılar yüzey alanlarını minimumda tutma eğilimindedirler. Bir sıvının yüzey alanını genişletmek için sıvının içinden yüzeyine doğru moleküllerin hareket ettirilmesi gerekir; bu da bir iş yapılması demektir. İğne üzerine etkiyen ağırlık kuvvetinin yaptığı iş, su yüzeyini iğnenin üstüne genişletmek için gereken enerjiden daha büyük olmadıkça iğne sıvı yüzeyinde kalır.

Yüzey gerilimi bir sıvının yüzey alanını artırmak için gereken enerji ya da iştir. Yüzey gerilimi genellikle Eski Yunan alfabesinin (γ) harfiyle gösterilir ve birim alan başına enerji, yani J/m^2 birime sahiptir. Sıcaklık —dolayısıyla moleküllerin hareket şiddeti— arttıkça moleküller arası kuvvetlerin etkisi azalır. Buna göre, sıcaklık *arttıkça* yüzey gerilimi düşer, yani bir sıvının yüzeyini genişletmek için gereken iş azalır.

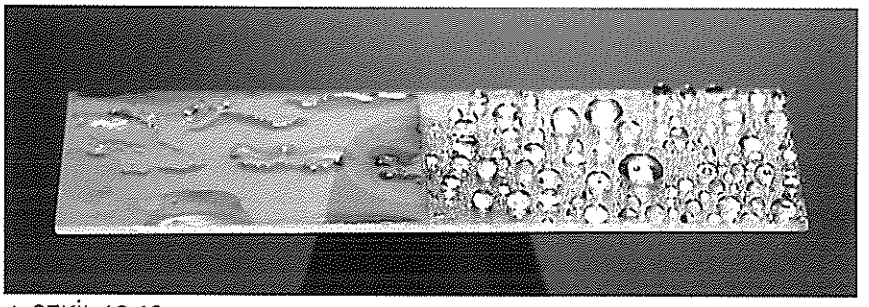
▶ Örneğin 20 °C da suyun yüzey gerilimi $7{,}28 \times 10^{-2}$ J m^{-2}, cıvanınki ise altı kat daha büyüktür, $47{,}2 \times 10^{-2}$ J m^{-2} dir.

Bir sıvı damlası bir yüzey boyunca bir film halinde yayılırsa, sıvının bu yüzeyi *ıslattığı* söylenir. Sıvı damlasının bir yüzeyi ıslatması ya da yüzeyde küresel damla halinde kalması, adezyon ve kohezyon olarak adlandırılan iki moleküller arası kuvvete bağlıdır: **Kohezyon kuvvetleri** benzer, **adhezyon kuvvetleri** ise farklı moleküller arasındaki, moleküller arası kuvvetlerdir. Eğer kohezyon kuvvetleri adhezyon kuvvetlerinden daha büyükse, damla biçimini korur. Öte yandan, eğer adhezyon kuvvetleri yeterince büyükse, damlanın dağılması sırasında yapılan iş, sıvının bir film halinde yayılması için gereken enerjiyi karşılar.

Su, cam ve bazı dokumaların yüzeylerini ıslatır. Suyun bir temizlik aracı olarak kullanılmasında bu özellik rol oynar. Eğer cam bir sıvı yağ fil-



▲ ŞEKİL 12-11
Bir sıvıda moleküller arası kuvvetler
Yüzeydeki moleküller yalnızca yüzeydeki diğer moleküller ve yüzeyin altındaki moleküller tarafından çekilir. Oysa, içteki moleküller her yöndeki komşu moleküller tarafından çekilir.

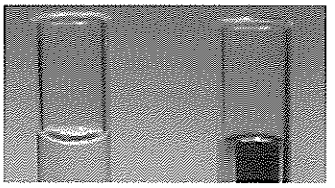


▲ ŞEKİL 12-12
Bir yüzeyin ıslanması
Su, temiz bir cam yüzeyinde bir film halinde yayılır (solda). Eğer yüzey yağlanırsa, yağ ve su molekülleri arasındaki adhezyon kuvvetleri damlanın yayılmasını önler ve damlalar yüzeyi ıslatmadan varlığını korur.

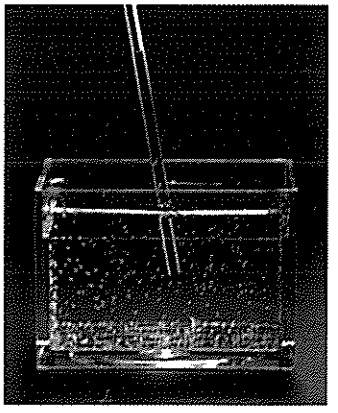
miyle kaplanırsa, su artık bu yüzeyi ıslatamaz ve Şekil 12-12 de gösterildiği gibi, damlacıklar cam üzerinde durur. Laboratuvarda cam malzemeyi yıkadığımız zaman, eğer su cam üzerinde düzgün bir film oluşturuyorsa işimizi iyi yapmışız demektir. Otomobilimizi cilaladığımızda, su yüzeyde boncuklar oluşturuyorsa yine işimizi iyi yapmışız demektir.

Suya deterjan katılmasının iki etkisi vardır: Birincisi deterjan çözeltisi yağı çözerek yüzeyi temizler. İkincisi deterjan suyun yüzey gerilimini düşürür. Yüzey geriliminin düşmesi, damlanın filme dönüşmesi için gereken enerjinin düşmesi anlamına gelir. Suyun yüzey gerilimini düşüren ve onun çok kolay yayılmasını sağlayan maddelere *ıslatma reaktifleri* denir. Bu maddeler bulaşık yıkamadan tutun da, endüstriyel süreçlere kadar pek çok uygulamada kullanılırlar.

Şekil 12-13 çok bilinen diğer bir gözlemi göstermektedir. Eğer cam tüpte bulunan sıvı su ise, su ve cam arasındaki kohezyon kuvvetleri tarafından, bu su tüpün çeperlerine doğru çekilerek, hafifçe yükselir. Su ile üzerindeki hava arasındaki *arayüz* iç bükeydir yani içe doğru bombeleşmiştir. Suyun yerini sıvı cıvanın alması durumunda ise sıvı yüzeyi dış bükeydir yani dışa doğru bombeleşir. Cıvada baskın olan kohezyon kuvvetleri, Hg atomları arasındaki kuvvetli metalik bağlardan ileri gelir ve cıva camı ıslatmaz. Bu yüzey sınırı oluşum etkisi, *kılcal (kapiler) tüpler* denilen küçük çaplı tüplerde olağanüstü ölçüde artar. Şekil 12-14 te gösterilen *kılcal etki*de, kılcal tüpün içindeki su düzeyi oldukça yüksektir. Bir süngerin sıvıyı emme etkisi, süngerin yapısındaki selüloz gibi lifli materyallerin içindeki kılcal borularda suyun yükselmesine dayanır. Suyun toprakta yükselmesi de kısmen kılcal etkiye dayanır. Öte yandan, yüksek kohezyon ve daha zayıf adhezyon kuvvetlerine sahip olan cıva, kılcal yükselme göstermez. Hatta kılcal tüpteki cıva kılcalın dışındaki cıva düzeyinden daha aşağıda olur.



▲ ŞEKİL 12-13
Yüzey sınırı oluşumu
Su camı ıslatır (solda). Yüzey sınırı iç bükeydir (yüzey sınırının tabanı su/cam değme çizgisinin altındadır). Cıva camı ıslatmaz. Yüzey sınırı dış bükeydir (yüzey sınırının tepesi cıva/cam değme çizgisinin üzerindedir).



▲ ŞEKİL 12-14
Kılcal etki
Su ve cam arasındaki büyük adhezyon kuvvetleri nedeniyle, su kılcal borunun iç çeperlerinde ince film halinde yayılarak yükselir (su camı ıslatır). Yüzey sınırının altında basınç hafifçe düşer. Bu durumda atmosfer basıncı, basınç farkını gidermek için su sütununu tüpe doğru iter. Daha *küçük* çaplı kılcallarda sıvı daha çok *yükselir.* Kılcal etkinin büyüklüğü yüzey gerilimiyle doğru orantılı olduğundan, Alıştırma 119 da açıklandığı gibi, kılcal etki yüzey geriliminin tayini için basit bir deneysel yöntem sağlar.

Viskozite

Moleküller arası kuvvetlerle az çok ilgili olan bir diğer özellik, **viskozite**dir (bir sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç). Moleküller arası çekim kuvvetleri arttıkça viskozite büyür. Bir sıvı akarken, bu sıvının bir bölümü komşu bölümlere göre daha hareketlidir. Bu sıvının içindeki kohezyon kuvvetleri, akış hızını düşüren bir "iç sürtünme" yaratır. Su ve etil alkol gibi viskozitesi düşük olan sıvılarda bu etki zayıftır. Bunlar kolayca akarlar. Bal ve ağır motor yağları gibi sıvılar çok daha ağır akar. Bunlara *viskoz sıvılar* denir. Vizkoziteyi ölçme yöntemlerinden biri, çelik bir bilyenin sıvı içinde belli bir yükseklikten düşme süresini ölçmeye dayanır (Şekil 12-15). Sıvının vizkozitesi arttıkça bilyenin düşme süresi uzar. Moleküllerin kinetik enerjileri arttıkça moleküller arası çekim kuvvetleri azalacağından, genel olarak sıcaklık *arttıkça* vizkozite *azalır.*

◀ Sıvıların viskoziteleri sıcaklıkla düşer, ama gazların viskoziteleri sıcaklıkla artar.



▲ ŞEKİL 12-15
Viskozitenin ölçülmesi
Bir sıvının viskozitesi, içinden düşürülen bir bilyenin hızı ölçülerek tayin edilebilir.

12.2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Motor yağı viskozitesi SAE sayıyısıyla ifade edilir (40 W gibi). Bilyeli viskozimetrede (Şekil 12-15) bilye 10 W değerine sahip yağ içinde, 40 W değerine sahip olan yağa göre daha hızlı düşer. Kanada' nın kutba yakın kesimlerinde bu iki yağdan hangisi daha iyi verim sağlar? Amerika' nın güney batısında yaz mevsiminde hangisi daha uygundur? Hangi yağ daha yüksek moleküller arası çekim kuvvetlerine sahiptir?

Buharlaşma Entalpisi

Kinetik-molekül kuramını incelerken (Kesim 6-7) öğrendiğimiz gibi, belli bir sıcaklıkta moleküllerin hızları ve kinetik enerjileri birbirine eşit değildir (Şekil 6-16). Daha sonra 7. Bölümde, moleküller arası çekim kuvvetlerine üstün gelebilecek, ortalama değerin üstünde kinetik enerjiye sahip moleküllerin sıvı yüzeyinden kurtularak gaz hale geçebileceğini öğrendik. Moleküllerin sıvı yüzeyinden gaz ya da buhar hale geçişine **buharlaşma** denir. Beklendiği gibi, aşağıdaki durumlarda buharlaşma daha hızlı olur

- *yüksek sıcaklıkta* (daha çok molekül, moleküller arası çekim kuvvetlerini yenebilecek kinetik enerjiye sahip olur.)
- *sıvı yüzey alanının artmasında* (yüzeyde daha çok sıvı molekülü bulunur.)
- *moleküller arası kuvvetlerin azlığında* (moleküller arası çekimi yenmek için gereken kinetik enerji azalır ve daha çok molekül sıvıdan kurtulmak için gerekli enerjiye sahip olur.)

Buharlaşma sırasında, enerjisi ortalama enerjiden daha büyük olan moleküller uzaklaştığından, kalan moleküllerin ortalama kinetik enerjisi azalır. Buharlaşan sıvının sıcaklığı düşer. Etil alkol gibi uçucu bir sıvının, cilt üzerinde buharlaştığında serinlik yaratmasının nedeni budur.

Buharlaşan bir sıvının sıcaklığını nasıl sabit tutabiliriz? Buharlaşan moleküllerin alıp götürdüğü kinetik enerjiyi bu sıvıya ısı olarak vermeliyiz. *Buharlaşma entalpisi*, belirli miktardaki bir sıvının sabit sıcaklıkta buharlaşabilmesi için alması gereken ısı miktarıdır. Bir başka deyişle,

$$\Delta H_{\text{buharlaşma}} = H_{\text{buhar}} - H_{\text{sıvı}}$$

Buharlaşma *endotermik* bir olay olduğundan, $\Delta H_{\text{buharlaşma}}$ (ya da basitçe ΔH_{buh}), her zaman pozitiftir. Genellikle buharlaşma entalpileri Çizelge 12.3 de görüldüğü gibi, bir mol sıvının buharlaşması için gerekli ısı miktarı olarak tanımlanmıştır. Çizelge 12.3 de görülen buharlaşma entalpilerinin farklı olmasının nedeni moleküller arası kuvvetlerin sonucudur. Örneğin, dietil eter ile metanol arasındaki buharlaşma entalpileri farkının nedeni, dietil eter molekülleri arasındaki kuvvetin sadece London dağılma kuvvetleri, metil alkolde ise dipol-dipol etkileşme kuvvetleri ile hidrojen bağının bileşkesi olmasıdır. Benzer biçimde, etil alkolde metil alkol-

ÇİZELGE 12.3 298 K[a] de Bazı Buharlaşma Entalpileri

Sıvı	ΔH_{buh}, kJ mol^{-1}
Dietil eter, $(C_2H_5)_2O$	29,1
Metil alkol, CH_3OH	38,0
Etil alkol, CH_3CH_2OH	42,6
Su, H_2O	44,0

[a] ΔH_{buh} sıcaklığa bağlıdır (bakınız Alıştırma 93).

den daha yüksek olan London dağılma kuvveti, etil alkol molekülleri arasında daha kuvvetli etkileşimlere yol açar ve bu yüzden etil alkolün buharlaşma entalpisi artar. Suyun alkollerden çok daha yüksek buharlaşma entalpisine sahip olmasının nedeni, alkoller sadece üç hidrojen bağı oluşturabilirken suyun dört hidrojen bağı oluşturmasıdır.

Bir gaz ya da buharın sıvıya dönüşmesine **yoğunlaşma** denir. Termodinamik açıdan yoğunlaşma, buharlaşmanın tersidir.

$$\Delta H_{\text{yoğunlaşma}} = H_{\text{sıvı}} - H_{\text{buhar}} = -\Delta H_{\text{buh}}$$

$\Delta H_{\text{yoğunlaşma}}$ ($\Delta H_{\text{yoğ.}}$) değeri ile ΔH_{buh} değeri aynı büyüklüktedir ve $\Delta H_{\text{yoğ.}}$ her zaman negatiftir. Yoğunlaşma *ekzotermik* bir olaydır. Bu durum, neden belli bir miktar buharın (su buharı) aynı miktardaki sudan çok daha yakıcı olduğunu açıklar. Sıcak su sadece soğurken açığa çıkardığı ısısıyla yakar. Buhar ise, sıvı suya yoğunlaştığı zaman büyük miktarda ısı verir ve daha sonra yoğunlaşan bu sıcak su soğurken ayrıca ısı verir.

◀ $H_{\text{sıvı}}$ ve H_{buhar} gibi mutlak entalpiler ölçülemez (sayfa 268). Fakat, entalpi bir hal fonksiyonu olduğundan mutlak entalpiler arasındaki farklar sayısal değerlere sahiptirler ve *ölçülebilirler*.

ÖRNEK 12-2 **Buharın Yoğunlaşması Sırasında Açığa Çıkan Isının Hesaplanması**

Suyun normal kaynama noktasındaki 0,750 L buhar, hafifçe soğutulan bir yüzeyde yoğunlaştırılıyor. Açığa çıkan ısı miktarını hesaplayınız. Bu sonuç, neden sadece yaklaşık bir sonuçtur?

Analiz

Önce elimizdeki buharı biraz daha tanımlayalım. Bu su buharıdır, $H_2O(g)$, ve normal kaynama noktasında sıvı su ile dengeye geldiğinde, buhar 1,000 atm basınçtadır.

Çözüm

Elimizde sabit sıcaklık (100,00 °C) ve basınçta (1,000 atm) hacmi bilinen (0,750 L) bir gaz vardır ve $H_2O(g)$ mol sayısını hesaplamak için ideal gaz denklemini kullanabiliriz. Yani,

$$n_{H_2O} = \frac{PV}{RT} = \frac{1{,}000\ \text{atm} \times 0{,}750\ \text{L}}{0{,}08206\ \text{L atm mol}^{-1}\ \text{K}^{-1} \times (273{,}15 + 100{,}00)\ \text{K}}$$
$$= 0{,}0245\ \text{mol}$$

$H_2O(g)$ nun molar yoğunlaşma entalpisi, Çizelge 12.3'te verilen ΔH_{buh}'nın negatif işaretlisidir, yani -44,0 kJmol^{-1}. 0,0245 mol buhar için,

$$\Delta H_{\text{yoğ}} = 0{,}0245\ \text{mol} \times (-44{,}0\ \text{kJ mol}^{-1}) = -1{,}08\text{kJ}$$

Değerlendirme

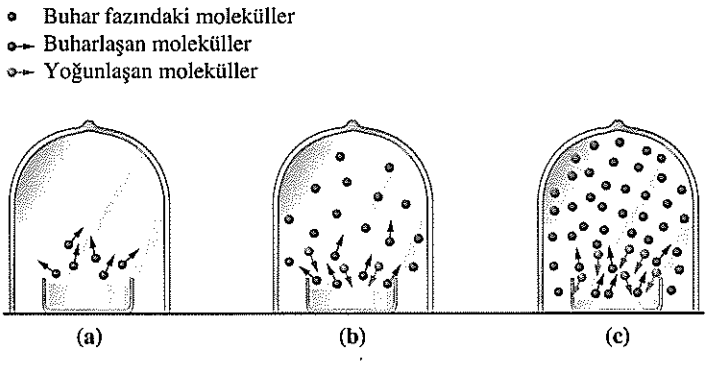
İki nedenle, bu bir yaklaşık sonuçtur: (1) $\Delta H_{\text{yoğ}}$ gibi ΔH_{buh} da sıcaklığa bağlıdır. 373 K'de kullanılması gereken $\Delta H_{\text{buğ}}$ değeri verilmediğinden 298 K deki $\Delta H_{\text{yoğ}}$ değeri kullanılmıştır. (2) Yoğunlaşan sıvı su, ("hafifçe soğutulan yüzey" nedeniyle) 373 K' in biraz altındadır. Yoğunlaşan buharın bu ek soğuması nedeniyle de az miktarda ısı salınmaktadır.

ALIŞTIRMA A: 2,35 g dietil eterin 298K'de buharlaşması için ne kadar ısı gerekir?

ALIŞTIRMA B: Örnek 12–2 için 100°C de ΔH_{buh} = 40,7 kJ mol^{-1}, yoğunlaşma yüzeyinin sıcaklığını 85°C ve 85-100 °C aralığında sıvı suyun ortalama özgül ısısını 4,21 Jg^{-1}C^{-1} alarak, daha kesin sonuç bulunuz.

Buhar Basıncı

Açık bir kapta bırakılan suyun tümüyle buharlaşacağını biliriz. Eğer buharlaşma kapalı bir kapta olursa farklı bir durum ortaya çıkar. Şekil 12-16 da gösterildiği gibi, sıvı ve buharın bir arada bulunduğu kapalı bir kapta, buharlaşma ve yoğunlaşma aynı zamanda oluşur. Eğer yeterince sıvı varsa, sonunda buhar miktarının sabit kaldığı bir duruma ulaşılır. Bu bir *dina-*



▶ ŞEKİL 12-16
Sıvı-buhar dengesinin kurulması
(a) Kapalı bir kaba bir sıvı konur. Önce sadece buharlaşma olur. **(b)** Yoğunlaşma başlar. Buharlaşma hızı yoğunlaşma hızından büyüktür ve buhar haldeki moleküllerin sayısı artmaya devam eder. **(c)** Yoğunlaşma hızı buharlaşma hızına eşit olur. Buhar halindeki moleküllerin sayısı ve buharın yaptığı basınç sabit kalır.

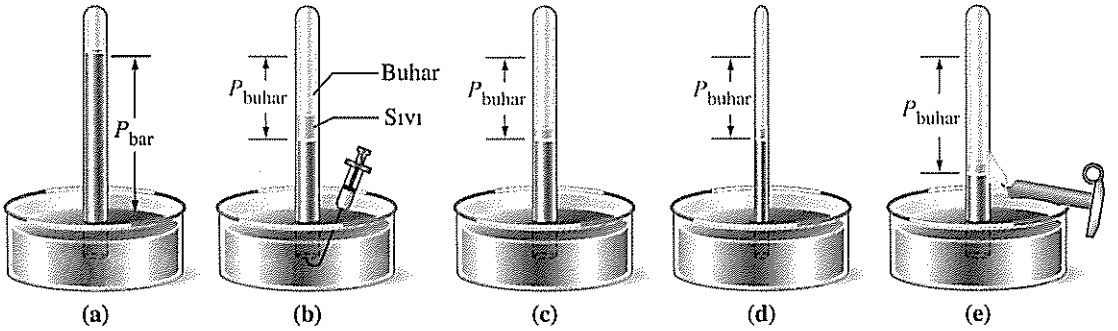
mik denge halidir. Dinamik denge her zaman iki zıt yönlü olayın eş zamanlı, eşit hızda oluştuğunu belirtir. Sonuç olarak, denge bir kez kurulduktan sonra artık net bir değişim olmaz. Bu sıvı-buhar dengesi simgesel olarak aşağıda verildiği gibi gösterilir.

$$\text{sıvı} \underset{\text{yoğunlaşma}}{\overset{\text{buharlaşma}}{\rightleftharpoons}} \text{buhar}$$

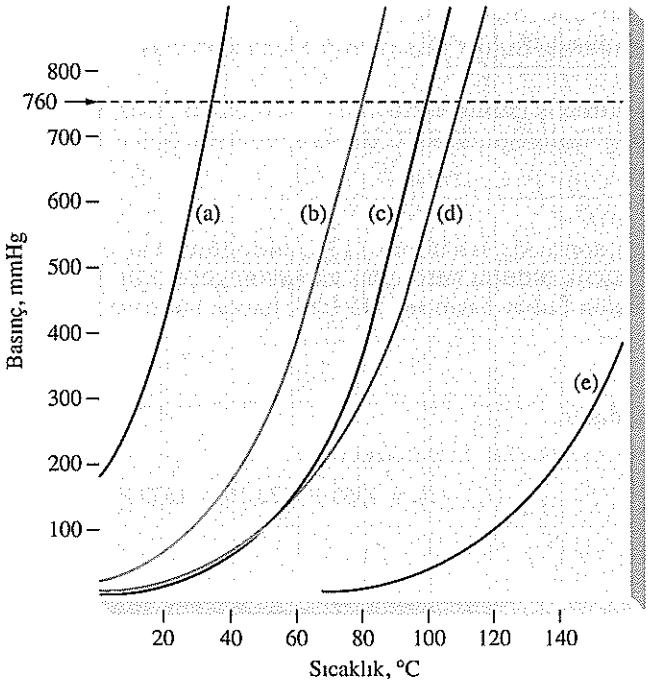
▶ Benzin, uçucu hidrokarbonların bir karışımıdır. Rafinerilerden, petrol istasyonlarından, otomobil benzin depolarından ya da çim biçme makinalarından, nereden buharlaşırsa buharlaşsın, önemli hava kirliliği nedenlerinden biridir.

Sıvısıyla dinamik dengede bulunan bir buharın oluşturduğu basınca **buhar basıncı** denir. Oda sıcaklığında yüksek buhar basıncına sahip sıvılara *uçucu*, çok düşük buhar basıncına sahip olanlara da *uçucu olmayan* sıvılar denir. Bir sıvının uçucu olup olmamasını moleküller arası kuvvetlerin büyüklüğü belirler. Bu kuvvetler azaldıkça uçuculuk artar (buhar basıncı büyür). Dietil eter ve aseton uçucu sıvılardır; 25° C de buhar basınçları sırayla 534 ve 231 mmHg dır. Su orta uçuculukta bir sıvıdır; 25° C de buhar basıncı 23,8 mmHg dır. Uçucu olmayan cıvanın 25° C de buhar basıncı 0,0018 mmHg dır.

Bir sıvının buhar basıncı sıvının türüne ve sıcaklığına bağlıdır. Dengede sıvı ve buhar bulunduğu sürece, buhar basıncı bunların miktarlarına bağlı değildir. Bu söylenenler Şekil 12-17 de gösterilmiştir. Sıcaklıkla buhar basıncının değişimini gösteren grafiğe **buhar basıncı eğrisi** denir. Buhar basıncı eğrileri her zaman Şekil 12-18'deki görünüme sahiptir. Yani *buhar basıncı sıcaklık ile artar*. Suyun farklı sıcaklıklardaki buhar basıncı Çizelge 12.4' te verilmiştir.



▲ ŞEKİL 12-17
Buhar basıncının gözlenmesi
(a) Cıvalı barometre. **(b)** Cıva sütununun üstüne az miktarda sıvı enjekte edilir. Sıvı ile dengedeki buharın basıncı cıva düzeyini düşürür. **(c)** (b) ile karşılaştırıldığında, buhar basıncı enjekte edilen sıvının hacminden bağımsız olduğu görülür. **(d)** (c) ile karşılaştırıldığında buhar basıncının, buharın hacminden bağımsız olduğu görülür. **(e)** Sıcaklık arttıkça buhar basıncı artar.



◀ ŞEKİL 12-18
Bazı sıvıların buhar basıncı eğrileri
(a) Dietil eter, $C_4H_{10}O$; **(b)** benzen, C_6H_6; **(c)** su, H_2O; **(d)** toluen, C_7H_8; **(e)** anilin, C_6H_7N. Normal kaynama noktaları, kesikli çizgisinin buhar basıncı eğrilerini P = 760 mmHg'da kestiği sıcaklıklardır.

ÇİZELGE 12.4 Çeşitli Sıcaklıklarda Suyun Buhar Basıncı

Sıcaklık, °C	Basınç, mmHg	Sıcaklık, °C	Basınç mmHg	Sıcaklık, °C	Basınç, mmHg
0,0	4,6	29,0	30,0	93,0	588,6
10,0	9,2	30,0	31,8	94,0	610,9
20,0	17,5	40,0	55,3	95,0	633,9
21,0	18,7	50,0	92,5	96,0	657,6
22,0	19,8	60,0	149,4	97,0	682,1
23,0	21,1	70,0	233,7	98,0	707,3
24,0	22,4	80,0	355,1	99,0	733,2
25,0	23,8	90,0	525,8	100,0	760,0
26,0	25,2	91,0	546,0	110,0	1074,6
27,0	26,7	92,0	567,1	120,0	1489,1
28,0	28,3				

Buhar Basıncının Ölçülmesi

Şekil 12-17 de, az bir miktar sıvının cıvalı barometreye enjekte edilerek, cıva düzeyinin düşmesinin ölçülmesiyle buhar basıncının tayin edilebileceği görülmektedir. Bununla birlikte bu yöntem çok kesin sonuçlar vermez. Yöntem çok yüksek ve çok düşük basınçların tayinine de uygun değildir. En iyi sonuç, bir sıvının üstündeki basıncın sürekli değiştirilip ölçülmesi ve eş zamanlı olarak sıvı-buhar denge sıcaklığının kaydedilmesiyle elde edilir. Kısaca, bir sıvının kaynama noktası, üstündeki basınca göre değişir ve bu nedenle, sıvının buhar basıncı eğrisini göz önüne alırız. Basınç ölçümü kapalı uçlu ya da açık uçlu manometrelerle (sayfa 195) yapılır. Çok düşük buhar basınçlarının tayini için, gazın küçük bir delikten dışa yayılma hızına dayanan bir yöntem kullanılır. Bu yöntemde kinetik gaz kuramı denklemleri (Kesim 6-7) uygulanır. Örnek 12-3 transpirasyon yöntemi diye adlandırılan, bir inert gazın incelenen buhar ile doyurulduğu, ve buhar basıncını hesaplamak için ideal gaz denkleminin kullanıldığı yöntemi göstermektedir.

ÖRNEK 12-3 İdeal Gaz Denklemi Kullanılarak Buhar Basıncının Hesaplanması

1360 °C de 113 L helyum gazı aynı sıcaklıktaki eritilmiş gümüş içerisinden geçirilmiştir. Gaz, gümüş buharı ile doyarken, sıvı gümüşün kütlesi 0,120 g azalmıştır. 1360 °C de sıvı gümüşün buhar basıncı nedir?

Analiz

Helyum gazının gümüş buharıyla doyduktan sonra da hacminin 113 L olduğunu varsayalım. Gümüşün buhar basıncı dış basınca göre çok küçük olduğu sürece bu varsayım geçerlidir. Dalton kısmi basınçlar yasasına (sayfa 213) göre, gümüşün buhar basıncını 113 L lik hacmi tek başına işgal etmesi halindeki basıncı olarak değerlendirebiliriz.

Çözüm

İdeal gaz denkleminde kullanılacak veriler aşağıdadır.

$P = ?$ $\qquad V = 113\ \text{L}$

$R = 0{,}08206\ \text{L atm mol}^{-1}\,\text{K}^{-1}$ $\qquad T = 1360 + 273{,}15 = 1633\ \text{K}$

$$n = 0{,}120\ \text{g Ag} \times \frac{1\ \text{mol Ag}}{107{,}9\ \text{g Ag}} = 0{,}00111\ \text{mol Ag}$$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

$$P = \frac{0{,}00111\ \text{mol} \times 0{,}08206\ \text{L atm mol}^{-1}\,\text{K}^{-1} \times 1633\ \text{K}}{113\ \text{L}}$$

$$= 1{,}32 \times 10^{-3}\ \text{atm}\ (1{,}00\ \text{Torr})$$

Değerlendirme

1360 °C de gümüşün deneysel olarak ölçülen buhar basıncı, 1 mmHg veya $1{,}32 \times 10^{-2}$ atm olduğundan, yaptığımız varsayım geçerli gözükmektedir.

ALIŞTIRMA A: Sıvı heksan (C_6H_{14}) ile buharı arasında 25°C de denge kurulmaktadır. Dengedeki buharın yoğunluğu 0,701 g/L olduğuna göre, 25°C de heksanın buhar basıncını Torr biriminde hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: 20,0°C de sıvı dietil eterin buhar yoğunluğunu Şekil 12-18 yardımıyla hesaplayınız.

Buhar Basıncı Verilerinin Kullanılması

Buhar basıncı verilerini Kesim 6-6 da gazların bir sıvı üzerinde, özellikle de su üzerinde toplanmasında kullandık. Bu verileri, Örnek 12-4 de gösterildiği gibi, bir maddenin yalnızca buhar (gaz) halinde mi, yalnızca sıvı halde mi, yoksa sıvı-buhar dengesi halinde mi bulunabileceğini öngörmede de kullanabiliriz.

ÖRNEK 12-4 Buhar Basıncı Verilerinden Maddenin Halinin Kestirilmesi

Bir kimyasal tepkime sonucunda 50,0 °C deki 525 mL hacimli bir balonda oluşan 0,132 g su, yalnız sıvı halde mi, yalnız buhar halinde mi, yoksa sıvı-buhar dengesi halinde mi bulunur (Şekil 12-19)?

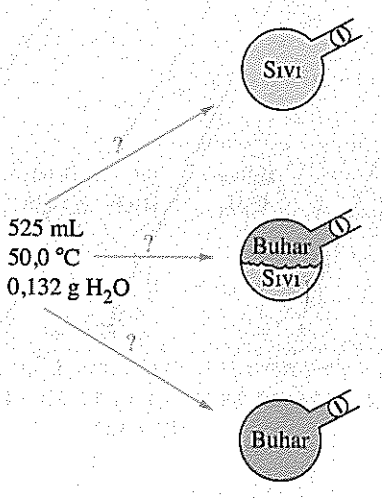
Analiz

Üç olasılığı verilen sırayla ele alalım.

Çözüm

YALNIZ SIVI?

Yoğunluğu 1 g/mL dolayında olan 0,132 g sıvı su örneği 0,13 mL dolayında bir hacme sahiptir. Dolayısıyla bu örneğin 525 mL lik bir balonu tümüyle doldurmasının yolu yoktur. Buna göre, yalnız sıvı hali *olanaksızdır.*



◀ ŞEKİL 12-19
Maddenin fiziksel halinin kestirilmesi
Solda verilen koşullar için, sağda gösterilen sonuçların hangisi geçerlidir?

YALNIZ BUHAR?

Balonun sıvı tarafından işgal edilmeyen hacmi, (boşluk olarak kalamayacağından) bir şeyle doldurulmalıdır. Bu şey su buharıdır. Sorulması gereken soru, su örneği hiç sıvı kalmayacak biçimde buharlaşacak mıdır? İdeal gaz denklemini kullanarak 0,132 g suyun, tümüyle buhar halinde olduğunda uygulayacağı basıncı hesaplayalım.

$$P = \frac{nRT}{V}$$

$$= \frac{0{,}132\ \text{g}\ H_2O \times \dfrac{1\ \text{mol}\ H_2O}{18{,}02\ \text{g}\ H_2O} \times 0{,}08206\ \text{L atm mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 323{,}2\ \text{K}}{0{,}525\ \text{L}}$$

$$= 0{,}370\ \text{atm} \times \frac{760\ \text{mmHg}}{1\ \text{atm}} = 281\ \text{mmHg}$$

Şimdi hesaplanan bu basıncı, 50° C deki suyun buhar basıncı ile karşılaştıralım (Çizelge 12.4). Hesaplanan basınç (281 mmHg) çizelgede verilen 50°C deki buhar basıncından (92,5 mmHg) bir hayli yüksektir. Bu durumda basınç 92,5 mmHg değerine düşünceye kadar, $H_2O(g) \rightarrow H_2O(s)$ tepkimesine göre düşer. Buhar yoğunlaşır ve bu basınçta (92,5 mmHg) 50° C de sıvı ve buhar dengededir. Yani yalnız buhar hali *olanaksızdır*.

SIVI VE BUHAR?

Balondaki son durum için tek olasılık budur. Sıvı su ve su buharı 50° C de ve 92,5 mmHg basınçta bir arada bulunur.

Değerlendirme

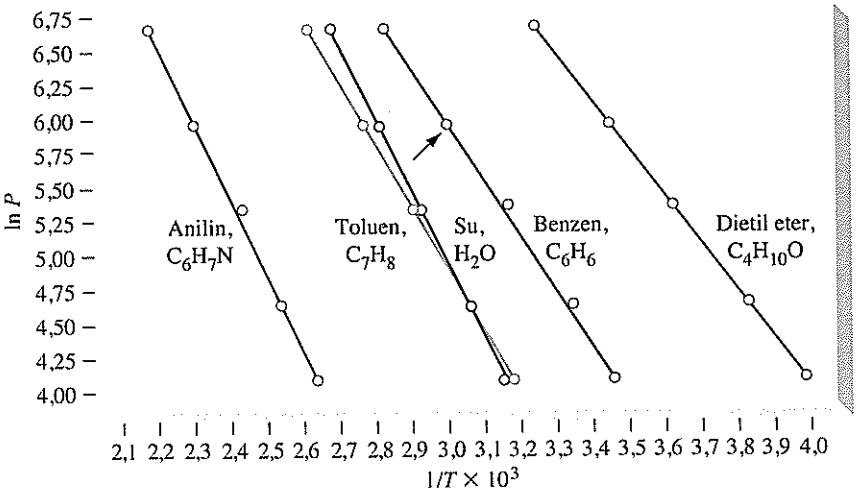
Bu soruyu, ideal gaz denklemi ve buhar basıncı bilgilerimizi kullanarak çözdük. Birinci durumda yalnızca sıvı, ikincisinde ise yalnızca buhar uç hallerini göz önünde bulundurduğumuza dikkat ediniz.

ALIŞTIRMA A: Yukarıdaki örnekte oluşan su 80°C de tutulursa, yalnız buhar halinde mi yoksa sıvı buhar denge halinde mi bulunur? Açıklayınız.

ALIŞTIRMA B: Örnek 12-4 de açıklanan durumda, mevcut sıvı ve buharın kütleleri nedir?

Buhar Basıncı Denklemi

Eğer bir sıvının buhar basıncı değerlerini bir el kitabında ya da veri çizelgelerinde ararsanız, Şekil 12-18 deki gibi bir grafik bulma olanağınız yoktur. Aynı şekilde, su ve cıva gibi birkaç sıvı dışında Çizelge 12.4'de olduğu gibi veriler bulmanız da olası değildir. Bulabileceğiniz şey, buhar basıncını sıcaklığa bağlayan matematiksel ifadelerdir. Böyle bir denklem, grafik ve çizelgelerle bir sayfada verilebilecek veriyi bir satırda özetleyebilir. Buhar basıncı denklemi (12.1) aşağıda görülmektedir. Bu denklem, buhar basın-



▶ ŞEKİL 12-20
1/T ye karşı lnP olarak çizilmiş buhar basıncı verileri
Basınçlar mmHg, sıcaklıklar ise Kelvin birimindedir. Şekil 12-18 deki değerler aşağıdaki örnekte olduğu gibi yeniden hesaplanıp grafiğe geçirilmiştir: 60°C de buhar basıncı 400 mmHg dır; $\ln P = \ln 400 = 5{,}99$ dur. $T = 60 + 273 = 333$ K; $1/T = 1/333 = 0{,}00300 = 3{,}00 \times 10^{-3}$; $1/T \times 10^3 = 3{,}00 \times 10^{-3} \times 10^3 = 3{,}00$ dür. 3,00 ve 5,99 a karşılık gelen bu nokta şekilde siyah ok ile işaretlenmiştir.

cının doğal logaritmasını (ln) Kelvin sıcaklığının tersinin $(1/T)$ bir fonksiyonu olarak vermektedir. Bu bir doğru denklemidir. Şekil 12-18 de verilen sıvıların aşağıdaki eşitliğe göre çizilmiş doğrusal grafikleri Şekil 12-20 de görülmektedir.

$$\underbrace{\ln P}_{y} = \underbrace{-A}_{m}\underbrace{\left(\frac{1}{T}\right)}_{x} + \underbrace{B}_{b} \qquad (12.1)$$

Doğru denklemi: $y = m \times x + b$

▶ 12.2 Denkleminin eldesinde B sabitinin nasıl giderildiğini görmek için Ek A'ya bakınız.

Denklem (12.1) i kullanabilmek için iki sabitin yani A ve B değerlerinin bilinmesi gerekir. A sabiti sıvının buharlaşma entalpisine bağlıdır: $A = \Delta H_{buh}/R$ olup burada ΔH_{buh} J/mol biriminde ve $A = 8{,}3145$ Jmol^{-1} K^{-1} dir. B yi ortadan kaldırmak için bilinen bir yol, (12.1) denklemini Clausius-Clapeyron denklemi diye adlandırılan şekliyle yeniden yazmaktır.

UNUTMAYINIZ
Genelde basınç 1 bar olmadığından bu denklemdeki buharlaşma ısısı, ΔH^{o}_{buh} olamaz.

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = -\frac{\Delta H_{buh}}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \qquad (12.2)$$

Örnek 12-5 de bu denklemin bir uygulamasını yapacağız.

ÖRNEK 12-5 Clausius-Clapeyron Denkleminin Uygulaması

Çizelge 12.3 ve 12.4 deki verileri kullanarak suyun 35,0 °C deki buhar basıncını hesaplayınız.

Analiz

Clausius-Clapeyron denkleminden başlayıp, beşinci veriyi bulmak için, kullanılacak dört veriyi saptamalıyız. Buhar basıncını hesaplayacağımız için iki sıcaklık, bir basınç ve buharlaşma entalpisine ihtiyacımız vardır.

Çözüm

Verilen T_1 sıcaklığında bilinmeyen buhar basıncı P_1 olsun. Yani,

$$P_1 = ? \qquad T_1 = (35{,}0 + 273{,}15)\ \text{K} = 308{,}2\ \text{K}$$

Çizelge 12.4 den 35,0 °C ye yakın T_1 ve P_1 için, örneğin 40,0 °C yi seçelim.

$$P_2 = 55{,}3\ \text{mmHg} \qquad T_2 = (40{,}0 + 273{,}15)\ \text{K} = 313{,}2\ \text{K}$$

Çizelge 12.3 de verilen $\Delta H_{buh} = 44{,}0$ kJ/mol değerinin 30,0 °C – 40,0 °C aralığında uygulanabileceğini varsayalım

$$\Delta H_{buh} = 44{,}0\ \text{kJ mol}^{-1} \times \frac{1000\ \text{J}}{1\ \text{kJ}} = 44{,}0 \times 10^3\ \text{J mol}^{-1}$$

Bu değerler Denklem 12-1 de kullanılarak,

$$\ln\left(\frac{55{,}3\ \text{mmHg}}{P_1}\right) = -\frac{44{,}0 \times 10^3\ \text{J mol}^{-1}}{8{,}3145\ \text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}}\left(\frac{1}{313{,}2} - \frac{1}{308{,}2}\right)\text{K}^{-1}$$
$$= -5{,}29 \times 10^3(0{,}003193 - 0{,}003245) = 0{,}28$$

$e^{0,28} = 1{,}32$ (Ek A ya bakınız) ve buradan,

$$\frac{55{,}3\ \text{mmHg}}{P_1} = e^{0,28} = 1{,}32$$
$$P_1 = 55{,}3\ \text{mmHg}/1{,}32 = 41{,}9\ \text{mmHg}$$

Değerlendirme

Burada $T_1 < T_2$ olduğundan $P_1 < P_2$ olmalıdır. Böylece 12.2 denkleminin nasıl yazıldığına bakılmaksızın (farklı yazımlar mümkündür) (T_1, P_1) ve (T_2, P_2) seçimimizi, buhar basıncının sıcaklıkla her zaman artacağı gerçeğine dayandıracağız. Yanıtımızı kontrol etmenin bir yolu, bulunan basıncı bilinen basınç olarak kabul edip, problemde verilen basıncın bulunup bulanamadığını kontrol etmektir. Bulduğumuz sonucu, 35,0 °C deki suyun deneysel buhar basıncı olan 42,175 mmHg değer ile karşılaştırarak da kontrol edebiliriz.

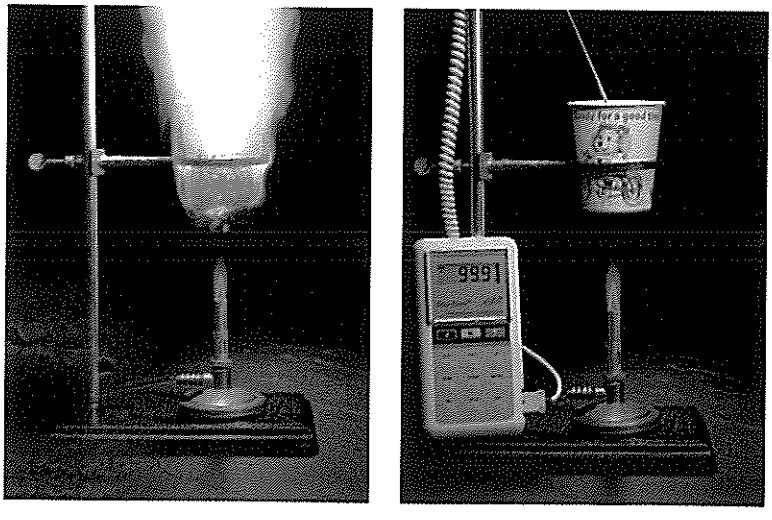
ALIŞTIRMA A: Metil alkolün 21,2 °C deki buhar basıncı 100 mmHg olarak verilmektedir. Metil alkolün 25,0 °C deki buhar basıncı nedir?

ALIŞTIRMA B: Benzinin bileşenlerinden izooktanın normal kaynama noktası 99,2 °C ve buharlaşma entalpisi 35,76 kJ mol^{-1} olarak verilmektedir. İzooktanın 25,0 °C deki buhar basıncını hesaplayınız.

Kaynama ve Kaynama Noktası

Bir sıvı *atmosfere açık bir kapta ısıtıldığında*, belirli bir sıcaklığa ulaşıldığında, yalnız yüzeyde değil tüm sıvı kitlesinde buharlaşma görülür. Sıvı kitlesi içindeki buhar kabarcıkları yüzeye çıkar ve uzaklaşır. Uzaklaşan bu moleküllerin oluşturduğu basıncın sıvı üzerindeki atmosfer moleküllerinin oluşturduğu basınca eşit olduğu, olaya **kaynama** denir. Kaynama sırasında ısı şeklinde alınan bu enerji, yalnızca sıvı haldeki molekülleri buhar haline dönüştürmek için kullanılır. Şekil 12-21 de çarpıcı biçimde gösterildiği gibi, tüm sıvı kaynayıp tükeninceye dek sıcaklık sabit kalır. Buhar basıncının, standart atmosfer basıncına (1 atm=760 mmHg) eşit olduğu sıcaklığa **normal kaynama noktası** denir. Bir başka deyişle, normal kaynama noktası bir sıvının 1 atm basınçtaki kaynama noktasıdır. Bazı sıvıların kaynama noktaları, Şekil 12-18 deki kesikli çizgilerin kesiştiği, sıvıların buhar basıncı eğrilerinden belirlenebilir.

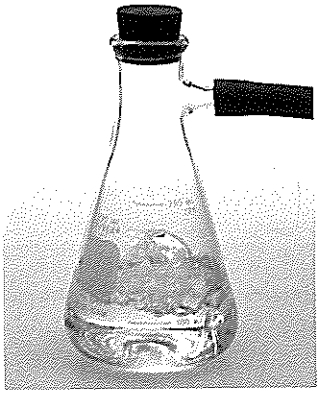
◀ Su kaynatılmak üzere ocağa bırakıldığında, ısındıkça küçük kabarcıklar görülür. Bunlar, uzaklaşan çözünmüş hava kabarcıklarıdır. Bununla birlikte, kaynama başladığında tüm çözünmüş hava uzaklaşır ve artık çıkan kabarcıklar yalnızca su buharı içerir.



◀ ŞEKİL 12-21
Kağıt bir bardakta suyun kaynaması
Boş bir kağıt bardak bek alevinde ısıtılırsa kısa sürede tutuşur. Eğer kağıt bardak su ile doldurulursa, içindeki su kaynadığı sürece yanmadan ısıtılabilir. Bu olayın üç nedeni vardır: (1) Suyun ısı kapasitesi büyük olduğundan, bekten gelen ısı esas olarak bardağın değil suyun ısınmasına harcanır. (2) Su kaynadığı sürece, sıvıyı buhar haline getirmek için büyük miktarda ısı (ΔH_{buh}) gerekir. (3) Bardakta su olduğu sürece, bardağın sıcaklığı suyun kaynama noktasının üzerine çıkmaz. Kaynama noktasının 100,0 °C değil 99,9 °C olması barometre basıncının 1 atm den birazcık düşük olduğunu gösterir.

▶ Dağcıların çaylarını en çok 70 °C ye kadar ısıtılabildiği Everest'in zirvesi çok özel bir durumdur.

Şekil 12-18 kaynama noktasının barometrik basınçla önemli ölçüde değişebileceğini de görmemizi sağlıyor. P=760 mmHg daki kesikli çizginin daha yüksek veya daha düşük basınçlara doğru kaydırılması, bu basınç doğrusunun buhar basıncı eğrileriyle farklı sıcaklıklarda kesişmesine yol açacaktır. Yüksek rakımlarda dış basınç 1 atm den daha düşüktür. 1609 m rakımda dış basınç 630 mmHg dır. Bu basınçta suyun kaynama noktası 95 °C (203 °F) dir. Böylesine düşük kaynama sıcaklığında besinlerin suda pişirilmesi uzun zaman alır. 3 dakikada haşlanan bir yumurta yüksek yerlerdeki düşük kaynama sıcaklıklarında 3 dakikadan daha çok zamanda haşlanır. Basınçlı tencerelerdeki su, atmosfer basıncından yüksek bir basınç altındadır, ve bu durumda kaynama noktası yükselir. Örneğin 2 atm basınçta (suyun) kaynama noktası yaklaşık 120 °C dir.



▲ Bir sıvının düşük basınçta kaynaması
Sıvı, kendi buhar basıncı, yüzeyindeki basınca eşit olunca kaynar. Sıvı kaynarken tüm sıvı kitlesinde kabarcıklar oluşur.

12-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

New York'daki Manhattan Adası'nda kaynatıldığında üç dakikada pişen yumurta, neden İsviçre'de daha uzun sürede pişer?

Kritik Nokta

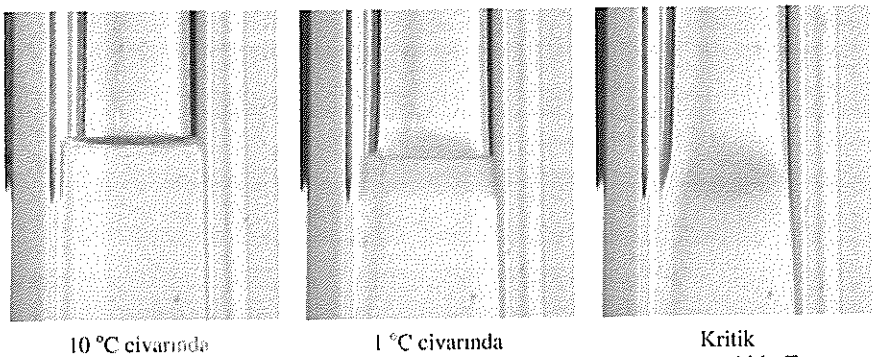
Kaynamayı tanımlarken sıvının "atmosfere açık bir kapta" olacağını söylemiştik. Eğer sıvı *kapalı* bir kapta ısıtılırsa kaynama olmaz. Bunun yerine basınç ve sıcaklık sürekli olarak yükselir. Basınç atmosfer basıncının birkaç katına çıkabilir. Eğer kapalı bir tüpe uygun bir miktar sıvı koyup ısıtırsak Şekil 12-22 de gösterildiği gibi şunları gözleriz:

- Sıvının yoğunluğu gittikçe azalır; buharın yoğunluğu gittikçe artar; sonuçta sıvı ve buharın yoğunluğu eşit olur.
- Sıvının yüzey gerilimi sıfıra yaklaşır. Sıvı ile buhar arasındaki sınır belirsizleşir ve giderek yok olur.

▶ Genelde sadece *gaz* terimi kullanılmasına rağmen, bazen T_k 'nin *altındaki* ve üstündeki gazlar için, *buhar* terimi de kullanılmaktadır.

Kapalı kaptaki ısıtma sonucunda, sıvı ile buharın ayırt edilemez hale geldiği bu noktaya, **kritik nokta** denir. Kritik noktadaki sıcaklığa kritik sıcaklık (T_k) ve basınca kritik basınç (P_k) denir. Kritik nokta, buhar basıncı eğrisinin en yüksek noktasıdır ve sıvının bulunabileceği en yüksek sıcaklığı gösterir. Kimi kritik sıcaklık ve basınçlar Çizelge 12.5 de verilmiştir.

Bir gaz, yalnızca kritik sıcaklığının altında yani T_k *altında* sıvılaştırılabilir. Eğer oda sıcaklığı, kritik sıcaklığın (T_k) *altında* ise, gaz sadece uygun bir basınç uygulanarak sıvılaştırılabilir. Eğer oda sıcaklığı, kritik sıcaklıktan *yüksekse* bu işlem için ilave basınç uygulamasının *yanında* sıcaklığın T_k nın altında bir yere düşürülmesi gerekir. Gazların sıvılaşması üzerinde, ileride sayfa 523 de, biraz daha duracağız.



10 °C civarında T_k nın altında | 1 °C civarında T_k nın altında | Kritik sıcaklık, T_k

▶ ŞEKİL 12-22
Kritik noktaya ulaşılması
Kapatılmış bir kapta sıvıyı buhardan ayıran sınır, kritik noktada kaybolur ve sıvı ile buhar ayırt edilemez hale gelir.

ÇİZELGE 12.5 Bazı Kritik Sıcaklıklar, T_k ve Kritik Basınçlar, P_k

Madde	T_k, K	P_k, atm
"Kalıcı" gazlar[a]		
H_2	33,3	12,8
N_2	126,2	33,5
O_2	154,8	50,1
CH_4	191,1	45,8
"Kalıcı olmayan" gazlar[b]		
CO_2	304,2	72,9
HCl	324,6	82,1
NH_3	405,7	112,5
SO_2	431,0	77,7
H_2O	647,3	218,3

[a]Kalıcı gazlar 25 °C (298 K) da sıvılaştırılamazlar.
[b]Kalıcı olmayan gazlar 25 °C (298 K) da sıvılaştırılabilirler.

12.4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

NH_3 ve N_2'un kritik sıcaklıklarını karşılaştırınız (Çizelge 12.5). Hangisi daha büyük moleküller arası kuvvetlere sahiptir?

ÖRNEK 12-6 Moleküller Arası Kuvvetler ile Fiziksel Özelliklerin İlişkisi

Aşağıdaki maddeleri beklenen kaynama noktaları artışına göre sıralayınız: CCl_4, Cl_2, ClNO, N_2.

Analiz

Kaynama noktasının moleküller arası kuvvetlerle ilişkili olduğunu anımsayalım. Buradaki moleküller arası kuvvetlerin ne olduğunu ve büyüklüklerini değerlendirerek başlamalıyız.

Çözüm

Verilen maddelerin üçü apolardır. Bunlarda dağılma kuvvetlerinin büyüklüğü ve dolayısıyla kaynama noktaları molekül kütlesine bağlı olarak artmalıdır, yani, $N_2 < Cl_2 < CCl_4$. ClNO molekül kütlesi (65,5 akb) Cl_2 (70,9 akb) molekülüne yakındır, ancak ClNO molekülü polardır (bağ açısı120°). Buradan, ClNO bileşiğindeki moleküller arası kuvvetlerin Cl_2 molekülünden daha büyük olduğu ve kaynama noktasının da ClNO'da daha yüksek olacağı çıkar. Bununla birlikte, ClNO kaynama noktasının CCl_4 den büyük olmasını bekleyemeyiz, çünkü molekül kütleleri arasındaki fark çok büyüktür. (65,5 akb ve 154 akb). Bu durumda beklenen kn sırası $N_2 < Cl_2 < ClNO < CCl_4$ olur (gözlenen kaynama noktaları ise sırayla 77,3; 239,1, 266,7 ve 349,9 K dir).

Değerlendirme

ClNO Molekülü polar olmasına karşın, kaynama noktasının en yüksek olmaması, dağılma kuvvetlerinin dipol-dipol etkileşimlerinden daha büyük olabileceğini göstermektedir.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki maddeleri artan tahmini kaynama noktalarına göre sıralayınız: Ne, He, Cl_2, $(CH_3)_2CO$, O_2, O_3.

ALIŞTIRMA B: Bazı sıvıların normal kaynama noktalarındaki ΔH_{buh} değerleri: H_2, 0,92 kJmol^{-1}; CH_4, 8,16 kJ mol^{-1}; C_6H_6, 31,0 kJmol^{-1}; CH_3NO_2, 34,0 kJmol^{-1}. Bu değerler arasındaki farklılıkları açıklayınız.

12.5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

CH_3Cl molekülü polar olmasına karşın, neden CCl_4 molekülünün kaynama noktası CH_3Cl molekülünden daha yüksektir, açıklayınız.

12-3 Katıların Bazı Özellikleri

Bu kitabın başında katıların bazı özelliklerinden (örneğin, tel ve levha haline getirilebilme) söz edilmişti. Burada katı özelliklerinin incelenmesi sürdürülecektir. Şimdi, katıları maddenin öteki halleriyle (sıvılar ve gazlar) bağlantılı düşünmemizi sağlayan özellikleri görelim.

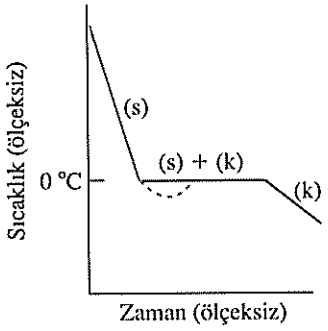
Erime, Erime Noktası ve Erime Isısı

Kristal bir katı ısıtıldıkça katının yapısındaki atomlar, iyonlar ya da moleküller daha şiddetli titreşirler. Sonunda bu titreşimler, kristal yapıyı bozacak bir sıcaklığa ulaşılır. Atomlar ya da moleküller birbirinin üzerinden kayar; katı biçimini kaybeder ve sıvıya dönüşür. Bu olaya **erime** ve erimenin oluştuğu bu sıcaklığa da **erime noktası** denir. Erimenin tersine, bir sıvının katıya dönüşmesine ise **donma** (ya da katılaşma), donmanın olduğu sıcaklığa da **donma noktası** denir. Bir katının erime noktası ile sıvısının donma noktası aynıdır. Bu sıcaklıkta katı ve sıvı birarada dengede bulunur.

Eğer dengedeki katı-sıvı karışımına düzenli biçimde ısı vermeyi sürdürürsek, bir yandan katı erirken *sıcaklık sabit* kalır. Ancak tüm katı eridikten sonra sıcaklık yükselmeye başlar. Tersine, dengedeki bir katı-sıvı karışımından düzenli olarak ısı çekersek, sıvı *sabit bir sıcaklıkta* donar. Bir katının erimesi için gereken ısı miktarına *erime entalpisi*, ΔH_{eri} denir. Kimi erime entalpileri Çizelge 12.6 da, kJ mol^{-1} biriminde verilmiştir. Belki de en bilinen erime (donma) noktası suyun erime noktası olan 0°C dir. Bu sıcaklık, sıvı ve katı suyun hava ile temas halinde ve standart atmosfer basıncında, dengede olduğu sıcaklıktır. Suyun erime entalpisi 6,01 kJ/mol dür ve erime denklemi şöyle yazılabilir.

$$H_2O(k) \longrightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H_{eri} = +6{,}01 \text{ kJ mol}^{-1} \qquad \textbf{(12.3)}$$

Bir sıvının donma noktasını belirlemenin kolay bir yolu vardır. Sıvı soğutulur ve zamanla düşen sıcaklığı ölçülür. Donma başladığı zaman, tüm sıvı donuncaya kadar *sıcaklık sabit* kalır. Daha sonra katı soğudukça sıcaklık yeniden düşmeye başlar. Eğer zamana karşı sıcaklıklar grafiğe alınır-



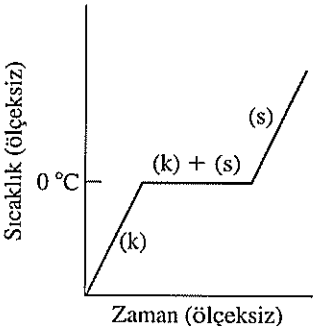
▲ ŞEKİL 12-23
Suyun soğuma eğrisi
Kesikli çizgilerle gösterilen kısım, ara sıra karşılaşılan aşırı soğuma koşullarını göstermektedir. (s) = sıvı; (k) = katı.

ÇİZELGE 12.6 Bazı Erime Entalpileri

Madde	Erime Noktası, °C	ΔH_{eri}, kJ mol^{-1}
Cıva, Hg	–28,9	2,30
Sodyum, Na	97,8	2,60
Metil alkol, CH_3OH	–97,7	3,21
Etil alkol, CH_3CH_2OH	–114	5,01
Su, H_2O	0,0	6,01
Benzoik asit, C_6H_5COOH	122,4	18,08
Naftalin, $C_{10}H_8$	80,2	18,98

sa *soğuma eğrisi* denilen grafikler elde edilir. Şekil 12-23 suyun soğuma eğrisini göstermektedir. Bu işlem, bir katıyla başlayıp, ısıtılarak tersine de çevrilebilir. Bu durumda da erime sırasında sıcaklık sabit kalır. Böyle bir sıcaklık-zaman eğrisine *ısınma eğrisi* denir. Genelde ısınma eğrisinin görünümü, soğuma eğirisinin soldan sağa çevrilmiş halidir. Suyun ısınma eğrisi Şekil 12-24 te gösterilmiştir.

Çoğu kez deneysel soğuma eğrileri, Şekil 12-23 de sürekli çizgi ile gösterilen eğriye tam olarak uymaz. Sıcaklık donma noktasının *altına* düştüğü halde bir donma gözlenmeyebilir. Bu olaya *aşırı soğuma* denir. Bir sıvıda kristallenmenin başlaması için, üzerinde kristallerin yapılanabileceği çekirdekler (örneğin, sıvıda dağılmış toz zerrecikleri) bulunmalıdır. Eğer sıvı, üzerinde kristallerin büyüyebileceği bu çekirdeklerden yeterli sayıda içermezse, donma öncesi aşırı soğuma olabilir. Fakat aşırı soğumuş sıvı donmaya başlar başlamaz, sıcaklık normal donma noktası sıcaklığına yükselir ve donma tamamlanıncaya dek bu sıcaklıkta kalır. Aşırı soğuma, soğuma eğrisinin doğrusal bölümünden hemen önce bir çöküntü biçiminde ortaya çıkar.



▲ ŞEKİL 12-24
Suyun ısınma eğrisi
Bu eğri erime noktasının biraz altından başlanarak ısıtılan buzun, erime noktasının biraz üstünde sıvı su oluşturması sürecinde görülen değişiklikleri göstermektedir.

Süblimleşme

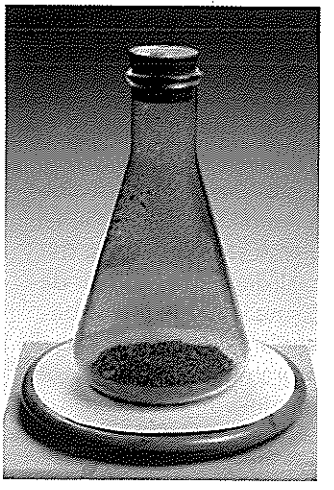
Sıvılar gibi, katılar da buharlaşır. Ancak katılarda moleküller arası kuvvetler çok büyük olduğundan belli bir sıcaklıkta sıvılar kadar uçucu değildirler. Moleküllerin katı halden doğrudan buhar hale geçmesine **süblimleşme** denir. Süblimleşmenin tersine, molekülün buhar halden katı hale geçmesine ise **kırağılaşma** adı verilir. Süblimleşme ve kırağılaşma eşit hızda olduğu zaman katı ve buhar arasında dinamik bir denge vardır. Dengedeki buharın gösterdiği basınca *süblimleşme basıncı* denir. Süblimleşme basıncının sıcaklıkla değişim grafiğine *süblimleşme eğrisi* adı verilir. *Süblimleşme entalpisi* ($\Delta H_{süb}$), katıyı buhar haline geçirmek için gereken ısı miktarıdır. Sublimleşme noktasında süblimleşme (katı ⟶ buhar), erime (katı ⟶ sıvı) ve ardından buharlaşmaya (sıvı ⟶ buhar) eşdeğerdir. Bu durum erime noktasında ΔH_{eri}, ΔH_{buh} ve $\Delta H_{süb}$ arasında,

$$\Delta H_{süb} = \Delta H_{eri} + \Delta H_{buh} \qquad (12.4)$$

bağıntısının olduğunu gösterir. Denklem 12.4 ten elde edilen $\Delta H_{süb}$ değeri Clausius-Clapeyron denkleminde [Denklem (12.2)] buharlaşma entalpisinin yerine konularak, süblimleşme basıncı, sıcaklığın fonksiyonu olarak hesaplanabilir.

Önemli süblimleşme basınçlarına sahip iki katı buz ve kuru buzdur (katı karbon dioksit). Eğer soğuk bir iklimde yaşıyorsanız sıcaklık 0 °C ın üzerine çıkmamasına karşın, yerlerdeki karların kaybolduğunu gözlemlemişsinizdir. Bu koşullarda kar erimez; süblimleşir. Buzun süblimleşme basıncı 0 °C de 4,58 mm Hg dır. Yani katı buz 0 °C de 4,58 mmHg buhar basıncına sahiptir. Eğer hava halihazırda su buharıyla doymamışsa buz süblimleşecektir. İyodun süblimleşmesi ve kırağılaşması Şekil 12-25 de gösterilmiştir.

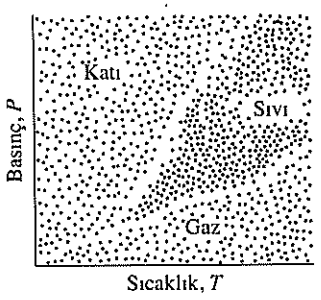
◀ Gökyüzündeki su damlacıkları aşırı soğumuş madde örnekleridir. Bunlar donma noktasının epey altında sıvı halde kalırlar. Üzerinde tutunacakları bir toz parçacığı bulduklarında, damlacıklar aniden buza dönüşürler.



▲ ŞEKİL 12-25
İyodun süblimleşmesi
Katı iyot, erime noktasının (114 °C) bir hayli altında bile, dikkate değer süblimleşme basıncına sahiptir. Burada 70 °C dolayında mor iyot buharı oluşmuştur. Erlenin soğuk ceperlerinde katı iyot kırağılaşır.

12-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Havadaki su buharı çiğ ya da kırağı oluştururken çevre ısı mı soğurur yoksa ısı mı kaybeder? Yoğunlaşan $H_2O(g)$ ın gramı başına ısı miktarı, yoğunlaşma ürünün çiğ ya da kırağıya dönüşmesinde aynı mıdır? Açıklayınız.



▲ ŞEKİL 12-26
Sıcaklık, basınç ve maddenin halleri
Nokta dağılımıyla gösterilen bir faz diyagramı taslağı. Kırmızı noktalar katının; mavi noktalar sıvının; ve kahverengi noktalarda gazın kararlı oldukları fazlarda, sıcaklık ve basınçları gösterir (Şekil 12-27 ve 12-28'e de bakınız).

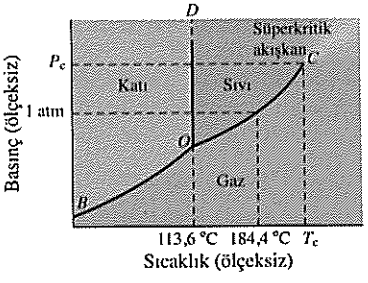
12-4 Faz Diyagramları

Her noktası maddenin bulunabileceği bir koşulu gösteren bir basınç-sıcaklık grafiğinin çizildiğini düşününüz. Şekil 12-26 da kırmızı noktalarla gösterilen düşük sıcaklık ve yüksek basınçlarda, maddenin atom, iyon ya da moleküllerinin yakın düzende (katı) istiflenmesini bekleriz. Yüksek sıcaklık ve düşük basınçlarda (Şekil 12-26) ise kahverengi noktalar ile gösterilen gaz halin orta sıcaklık ve basınçlarda da sıvı halin olmasını bekleriz.

Şekil 12-26 bir **faz diyagramıdır**. Katı, sıvı ve gazların (buhar) tek faz (ya da halde) ya da birbiriyle dengede birden çok fazda bulunduğu basınç ve sıcaklıkların grafikle gösterimine faz diyagramı denir. Diyagramda çizgiler arasındaki alanlar maddenin tek faz ya da haline; alanları ayıran çizgiler ise bu alanların temsil ettiği fazların denge konumuna karşılık gelir.

İyot

İyodun faz diyagramı basit ve tipik bir diyagramdır (Şekil 12-27). *OC* eğrisi sıvı iyodun buhar basıncı eğrisidir. *C* ise kritik noktadır. *OB* katı iyodun süblimleşme eğrisidir. İyodun erime noktası üzerine basıncın etkisi *OD* çizgisiyle gösterilir ve buna *erime eğrisi* denir. *O* noktasının özel bir anlamı vardır. Bu nokta, *üç* fazın yani katı, sıvı ve buharın birlikte dengede oldukları *tek bir* sıcaklık ve basıncı gösterir. Bu noktaya **üçlü nokta** denir. İyot için bu değerler 113,6 °C ve 91 mmHg dır. Normal erime noktası (113,6 °C) ve kaynama noktası (184,4 °C), P=1 atm çizgisinin erime ve buhar basıncı eğrilerini kestiği noktalardır. Erime, 91,6 mmHg ile 1 atm aralığında basınçtan etkilenmez; normal erime noktasıyla üçlü nokta hemen hemen aynı sıcaklıktadır.



▲ ŞEKİL 12-27
İyodun faz diyagramı
İyodun erime ve üçlü nokta sıcaklıklarının aynı olduğuna dikkat ediniz. Genel olarak katı-sıvı denge sıcaklıklarında küçük bir değişme için bile büyük basınç artışları gerekir. Faz diyagramlarının önemli özelliklerini vurgulamak için, basınç ve sıcaklık eksenleri genellikle ölçeksiz çizilir.

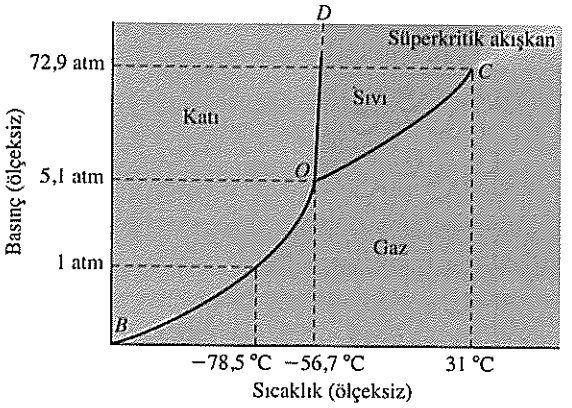
Şekil 12-27 de iyodun süblimleşme eğrisi, hemen hemen buhar basıncı eğrisinin uzantısıymış gibi gözüküyorsa da, veriler ölçekli olarak çizilirse, *O* noktasında bir süreksizlik görülür. Ayrıca bu *her zaman* böyle olmak durumundadır. Eğer bu iki eğri sürekli olsaydı, ln$P$ nin $1/T$ ile değişimini gösteren doğrular (Şekil 12-20) aynı eğime sahip olurlardı. Ancak bu olanaksızdır. ΔH_{buh} buhar basıncı doğrusunun eğimini (denklem 12-1), $\Delta H_{süb}$ ise süblimleşme doğrusunun eğimini belirler. Bununla birlikte bu iki entalpi değişimi asla aynı olamaz, çünkü $\Delta H_{süb} = \Delta H_{buh} + \Delta H_{eri}$ eşitliği vardır.

Sıcaklık ve basıncın çok geniş bir aralığını kaplaması, tüm faz diyagramının ölçekli olarak çizilmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle eksenler "ölçeksiz" verilmiştir.

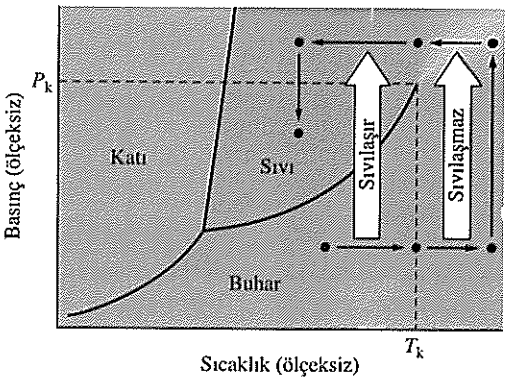
Karbon Dioksit

Karbon dioksidin faz diyagramının (Şekil 12-28) iyodun faz diyagramından önemli bir farkı vardır. Üçlü nokta basıncı 1 atm den büyüktür ve P=1 atm doğrusu, buhar basıncı eğrisini değil *süblimleşme eğrisini* keser. Katı karbon dioksit açık bir kapta ısıtılırsa, sabit bir sıcaklıkta (–78,5 °C) süblimleşir ve *katı karbon dioksit atmosfer basıncında erimez*. Bu yüzden "kuru buz" diye adlandırılır. Kuru buz, düşük sıcaklık sağlaması ve eriyerek sıvı oluşturmaması nedeniyle, soğutma ve besin koruma işlemlerinde yaygın olarak kullanılır.

5,1 atm basıncının üzerinde sıvı karbon dioksit elde edilebilir. Sıvı karbon dioksit, CO_2 içeren yangın söndürücülerde kullanılır. Bu yangın söndürücülerin işleyişinde maddenin üç hali de ortaya çıkar. Yangın söndürücünün vanası açılarak sıvı CO_2 bırakıldığında, büyük bir bölümü hızla buharlaşır. Buharlaşma için gerekli ısı, kalan sıvı CO_2 den sağlanır. Soğuyan bu sıvı CO_2 in sıcaklığını donma noktasının altına düşürerek katı CO_2 "kar" haline gelir. Bu katı CO_2 de hızla süblimleşerek gaz halindeki CO_2 ye dönüşür. Bu olayların hepsi, (1) yangının çevresinde bir CO_2 "örtüsü" oluşmasına ve (2) soğuma ile yangının sönmesine yardım eder.



▲ ŞEKİL 12-28
Karbon dioksidin faz diyagramı
Bu diyagramın birkaç özelliği metin içinde açıklanmıştır. Burada gösterilmeyen bir diğer özellik, *OD* erime eğrisinin sonunda kritik sıcaklığın üzerinde bir yere ulaşmak üzere sağa doğru eğilmesidir.



▲ ŞEKİL 12-29
Kritik nokta ve kritik izoterm
Gaza kritik izotermin (T_k) altındaki sıcaklıklarda basınç uygulanırsa, bir yüzey sınırının görünmesiyle sıvı oluşur ve kesintili bir faz dönüşümü meydana gelir. Kritik izotermin üzerine basınç uygulanırsa süperkritik akışkanın yoğunluğu artar. Küçük oklarla izlenen yolda, gaz kesintili bir faz geçişi göstermeden sıvıya dönüşür.

Süperkritik Akışkanlar

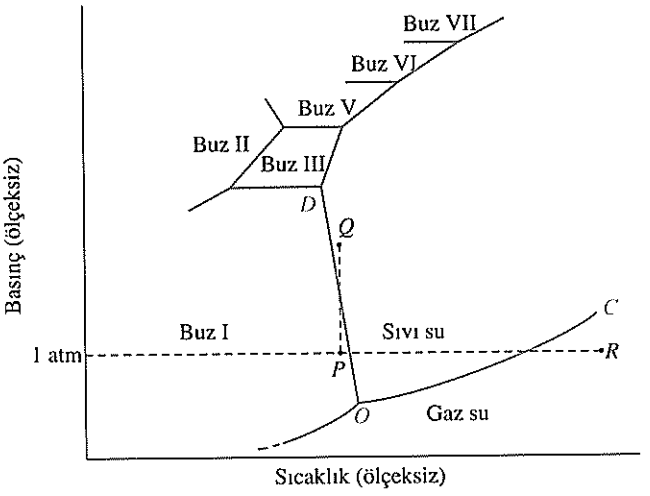
Kritik sıcaklıkta gaz ve sıvı haller birbirinin aynı ve ayırt edilemez olduğundan, kritik noktanın üzerindeki sıcaklık ve basınçlarda ortaya çıkan fazı adlandırmak zordur. Bu fazın yoğunluğu sıvınınki gibi yüksek, vizkozitesi ise gazınki gibi düşüktür. Bu faz için günümüzde *süperkritik akışkan* (SCF) terimi yaygın olarak kullanılmaktadır. Kritik sıcaklığın üzerinde, basınç uygulanarak süperkritik akışkan sıvılaştırılamaz. Şekil 12-29 daki genel faz diyagramını ele alalım. Kritik izotermin altında bir buharla başlayan ve nokta sonrası oklarla gösterilen yol, bizi bu izotermin üstünde düşük yoğunluklu bir gaza götürmektedir. Bu noktada basınç büyük ölçüde artırılırsa, yoğunluğu çok büyük süperkritik akışkan elde edilir. Eğer basınç kritik basıncı P_k aşarken, sıcaklık kritik izotermin altına düşürülürse bir sıvı elde edilir. Basınç daha da düşürülse örnek, sıvı fazda kalır. Noktalarla gösterilen yol izlenerek sıvı-gaz faz sınırına uğramadan, gaz fazından sıvı faza varılır. Sıvı-buhar faz çizgisini gözlemenin tek yolu, kritik izotermin aşağısında faz sınırını geçmektir. Şekilde izlenen yolda sıvı-buhar faz sınırı, sıvının basıncı buhar basıncı eğrisinin altında bir noktaya düşürülerek gözlenebilir.

Katı ve sıvıların gazlarda çözünebileceği normal olarak düşünülmemesine karşın, *uçucu* sıvı ve katılar gazlarda çözünür. Çözünürlük mol kesri, basitçe buhar basıncının (ya da süblimleşme basıncının) toplam gaz basıncına oranıdır. Sıvılar ve katılar, kritik sıcaklık ve basınçlarının üzerine çıkıldıkça, gazlarda daha çok çözünürler. Bu olay, büyük ölçüde SCF yoğunluğunun yüksek ve sıvınınkine yakın olmasının bir sonucudur. Süperkritik akışkanlarda moleküller birbiriyle gaz haldekine oranla çok daha yakındırlar ve sıvı ya da katı moleküllerini daha çok çekerler. SCF larının çözücü özellikleri normal sıvıların çözücü özelliklerine benzer. SCF basıncının değiştirilmesi, yoğunluğunun değişmesi anlamına gelir, bu da çözücü özelliklerinin değişmesi demektir. Bu durumda, karbon dioksit gibi belli bir SCF bir çokfazlı çözücü gibi kullanılabilir.

Son yıllara değin, kafeinsiz kahvenin temel üretim yöntemi, kafeini metilen klorür (CH_2Cl_2) gibi bir çözücü ile özütlemekti. Bu çözücü, iş yerindeki zararlı etkileri ve kahveden tümüyle giderilememesi nedenleriyle sorunlar yaratıyordu. Günümüzde ise kafeini özütlemek için süper kritik akışkan CO_2 kullanılmaktadır. Bu işlem için yeşil kahve tohumları 90°C ve



▲ **Kafeinsiz kahve**
"Doğal" kafeinsiz kahve, yeşil kahve tanelerindeki kafeini çözmek için çözücü olarak süperkritik akışkan CO_2 in kullanıldığı bir işlemle hazırlanır. Daha sonra kavrulan taneler satışa sunulur.



▶ ŞEKİL 12-30
Suyun faz diyagramı
O noktası 0,0098 °C ve 4,58 mmHg basınçlı üçlü noktadır. (Normal erime noktası tam 0 °C ve 760 mmHg dadır.) *C* kritik nokta 374,1 °C ve 218,2 atm dedir. *D* noktasında sıcaklık –22,0 °C ve basınç 2045 atm dir. *OD* erime eğrisinin negatif eğimi (burada bir hayli abartılmıştır) ve kesikli çizgilerin anlamı metin içinde tartışılmıştır.

160-220 atm de CO_2 ile muamele edilir. Kahvenin normal %1-3 dolayındaki kafein bileşimi %0,02 düzeyine düşürülür. CO_2 in sıcaklık ve basıncı düşürüldüğü zaman çözünmüş kafein çöker. Daha sonra CO_2 yeniden çevrime sokulur.

Su

▶ Suyun faz diyagramında sıvı-katı eğrisinin eğimi negatiftir ve bu, buzun sıvı suda yüzmesi demektir. Böyle olmasayda kutup denizleri asla erimeyen buzlarla dolardı. Katıların çoğu sıvılarından daha yoğundur. Su, bizim için sevindirici bir istisnadır.

Suyun faz diyagramı (Şekil 12-30) birkaç ilginç özellik gösterir. Bunlardan biri *OD* erime eğrisinin *negatif* eğimli olmasıdır; yani erime eğrisinin eğimi basınç eksenine doğrudur. Basınç arttıkça buzun erime noktası *düşer* ve bu bir katı için alışılmadık bir davranıştır (diğer iki örnek Bi ve Sb dur). Bununla birlikte buzun erime noktasında küçük düşüşler sağlamak için bile çok büyük basınç değişmeleri gerekir ve buzun bu davranışını normal olarak gözleyemeyiz. Çok verilen bir örnek buz patenidir. Patenin bıçağının uyguladığı basınç muhtemelen buzu eritmekte ve paten bu kaygan sıvı filmi boyunca kaymaktadır. Ancak, bıçağın basıncı erime noktasında belirgin bir düşme sağlayamayacağından, bu açıklama olası değildir. Özellikle donma noktasının çok altındaki sıcaklıklarda buz üstünde patenin kaymasını kesinlikle açıklayamaz. (Yeni deneysel kanıtlara göre, buz üzerindeki çok ince bir tabakadaki moleküller tıpkı sıvı sudaki moleküller gibi hareketlidir ve bu hareketlilik çok düşük sıcaklıklarda bile geçerlidir.)

▶ Basıncın 125 atm e çıkarılması suyun donma noktasını ancak 1°C dolayında düşürür.

Suyun faz diyagramında görülen diğer bir özellik, bir katı maddenin birden fazla biçimde bulunduğu **polimorfizm**dir. Normalde olağan basınçlardaki buza buz I denir. Diğer formlar yalnız yüksek basınçlarda vardır. Polimorfizmin oluştuğu yerde, bir faz diyagramı, bilinen katı-sıvı-buhar üçlü noktasından başka üçlü noktalara da sahiptir. Örneğin –22,0 °C sıcaklık ve 2045 atm basınçta (Şekil 12-30 da *D* noktası), buz I , buz III ve sıvı su dengededir. Buz I dışındaki katı formların erime eğrilerinin *pozitif* eğimlere sahip olduklarına dikkat ediniz. Bu nedenle buz VI, buz VII ve sıvı su üçlü noktası 81,6 °C ve 21 700 atm dedir.

Fazlar ve Faz Geçişleri

Bir maddenin bir fazı ile bir hali arasında ne fark vardır? Bu terimleri eş anlamlı olarak kullanma eğilimi vardır. Ancak bunların arasında küçük bir fark vardır. Belirttiğimiz gibi, maddenin katı, sıvı ve gaz diye *üç* hali vardır. Bir *faz* ise belli bir bileşimi ve tekdüze özelliği olan ve temasta olduğu öteki fazlardan ayırt edilebilen bir madde örneğidir. Buna göre biz, buharı ile dengede olan sıvı suyu iki-fazlı bir karışım olarak tanımlayabiliriz. Sıvı bir fazı, gaz ya da buhar öteki fazı oluşturmaktadır. Bu durumda, sıvı ve gaz fazları mevcut maddenin sıvı ve gaz halleri ile aynıdır.

Şekil 12-30 daki *D* noktasında, maddenin yalnızca *iki* hali (katı ve sıvı) mevcut bulunmasına rağmen, buradaki denge karışımını *üç-fazlı* bir karı-

şımdır. Bu fazlardan ikisi, yani polimorfik buz I ve buz III katı haldedir. İki ya da çok bileşenli karışımlarda, farklı fazlar katı halde olduğu gibi sıvı halde de bulunabilirler. Örneğin 25°C de trimetilamin, $(N(CH_2CH_3)_3$ ve suyun pek çok karışımı fiziksel olarak ayırdedilebilen iki sıvı faza ayrılır. Birisi trimetilaminin suda doymuş çözeltisi, diğeri ise suyun trimetilaminde doymuş çözeltisidir. Sistemde yer alan tüm fazlar basınç-sıcaklık diyagramlarıyla betimlendiğinden, bunlara *faz* diyagramları denilebilir. Bir faz diyagramında iki fazı ayıran eğrinin geçilmesine *faz geçişi* denir.

Aşağıda yaygın altı faz geçişinin adı verilmiştir.

erime (k ⟶ s)	donma (s ⟶ k)
buharlaşma (s ⟶ g)	yoğunlaşma (g ⟶ s)
süblimleşme (k ⟶ g)	kırağılaşma (g ⟶ k)

Bir faz diyagramında, iki faz arasındaki denge eğrisinin geçilmesi için verilebilecek yararlı genellemeler şunlardır.

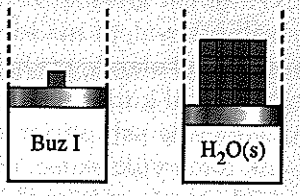
- *Sabit basınç* çizgisi (bir izobar) boyunca düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa doğru gidilirken entalpi *artar* (ısı soğurulur.)
- *Sabit sıcaklık* çizgisi (bir izoterm) boyunca düşük basınçtan yüksek basınca doğru gidilirken hacim *azalır*. (Yüksek basınçtaki faz yüksek yoğunluktadır.)

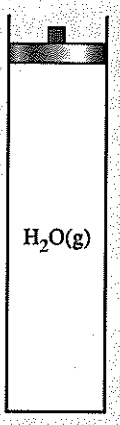
İkinci genelleme, erime eğrilerinin neden genellikle pozitif eğime sahip olduğunu anlamamıza yardımcı olur. Bir katının sıvısından daha yoğun olması, beklenen bir davranıştır. Örnek 12-7, bir maddenin uğradığı faz geçişlerini açıklamak için faz diyagramlarının nasıl kullanılacağını göstermektedir.

◀ Buz, sıvı sudan $H_2O(s)$ daha az yoğun olduğundan, Şekil 12-30 da *OD* erime eğrisi negatif eğimlidir.

ÖRNEK 12-7 Bir Faz Diyagramın Yorumlanması

Bir buz örneği 1 atm basınçta ve Şekil 12-30 daki *P* noktasıyla gösterilen sıcaklıktadır. **(a)** Sabit basınçta sıcaklık *R* noktasına yükseltildiğinde ve **(b)** sabit sıcaklıkta basınç *Q* noktasına yükseltildiğinde neler olacağını açıklayınız. Yandaki Şekil 12-31 de *P*, *Q* ve *R* noktası koşulları verilmiştir.





◀ ŞEKİL 12-31
Örnek 12-7 deki olayların gösterimi
Bir su örneği, basıncı ayarlamak için serbest hareket eden bir pistonla donatılmış kapalı bir kaptadır. Burada Şekil 12-30 daki *P*, *Q* ve *R* noktalarındaki durum çizilmiştir. Sabit sıcaklıkta (izotermal) basınç değiştirilerek *P* noktasından *Q* noktasına geçilebilir. *P* noktasından *R* noktasına sabit basınçta (izobarik) sıcaklık değiştirilerek geçilebilir.

Analiz

Faz ayrımını gösteren çizgilerde her iki fazında bulunduğunu anımsayalım. Bu ara çizgilerde her iki fazın bir karışımı vardır. Bir fazdan diğerine geçerken, faz karışımları çizgisinde, bir faz tümüyle diğerine dönüşünceye dek sıcaklığın sabit kalacağını da unutmayalım.

Çözüm

(a) Sıcaklık *OD* erime eğrisi üzerindeki bir noktaya (0 °C) ulaştığında, buz erimeye başlar. Bu sıcaklık, buz tamamen sıvıya dönüşünceye kadar sabit kalır. Erime tamamlanınca sıcaklık yeniden yükselmeye başlar. Sıcaklık, buhar basıncının 1 atm olduğu 100 °C ye ulaşıncaya

(devam ediyor)

kadar kapta buhar görülmez. Tüm sıvı buharlaştığı zaman sıcaklık yeniden yükselerek son R değerine ulaşır.

(b) Katılar fazla sıkıştıralamadığından , basınç PQ sabit sıcaklık çizgisi ile OD erime eğrisinin kesim noktasına ulaşıncaya dek çok az değişir. Bu basınçta erime başlar. Buz sıvıya dönüştükçe önemli bir hacim değişimi (%10 dolayında) olur. Erime sonrası, basıncın artması çok fazla değişim yaratmaz. Çünkü sıvılar fazla sıkıştırılamazlar.

Değerlendirme

Faz diyagramları, maddenin diğer fazlarını gözlemek için gerekli olan koşulların anlaşılması için çok yararlıdır. Şekil 12-30 daki faz diyagramını kullanarak, erime yerine süblimleşmenin gözlenmesi için gereken basıncı belirleyebiliriz.

ALIŞTIRMA A: Şekil 12-30 da R noktasında bulunan su örneğinin önce P, sonra Q noktasına getirilmesiyle oluşacak değişimleri olabildiğince ayrıntılı biçimde açıklayınız.

ALIŞTIRMA B: 1,00 mol suyun yarısının buharlaşması için PR boyunca gelinmesi gereken noktayı gösteren bir şekil çiziniz. Bunu, 1,00 mol su için çizildiği varsayılan Şekil 12-31 deki R noktasındaki durumla karşılaştırınız. Örneğin, sistemin hacmi Şekil 12-31 dekiyle aynı mıdır? Değilse, ondan daha az ya da çok mudur ve ne kadar az ya da çoktur ? R noktasında sıcaklığın suyun kritik nokta sıcaklığına eşit olduğunu ve su buharının ideal gaz gibi davrandığını varsayınız.

12-7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Yangın söndürme sırasında sudan zarar gören kitapların onarımında, vakumda "dondurarak kurutma" yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin işleyişini açıklayınız.

12-5 Ağörgülü Kovalent Katılar ve İyonik Katılar

Kovalent maddelerin çoğunda moleküller arası kuvvetler, molekül içindeki atomlar arasındaki bağlara göre çok zayıftır. Düşük molekül kütlesine sahip kovalent maddelerin dağılma kuvvetleri zayıf olup oda sıcaklığında genel olarak gaz halinde olmalarının nedeni budur. Biraz daha yüksek molekül kütlesine sahip olan kovalent maddeler daha güçlü dağılma kuvvetlerine sahiptirler ve sıvı halde bulunurlar. Eğer molekül kütleleri çok daha yüksek ise, nispeten düşük erime noktalı katıdırlar. Örneğin, 1 atm basınçta, oda sıcaklığında klor gaz, brom sıvı ve iyot katı haldedir.

Ağörgülü Kovalent Katılar

Ağörgülü kovalent katılar olarak bilinen az sayıda maddede, kristal katının tamamında kovalent bağlar vardır. Bu durumda tüm kristal kuvvetli bağlarla bir arada tutulur. Örnek olarak saf karbonun iki allotropik biçimi olan elmas ve grafiti inceleyelim.

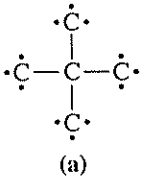
▶ Silisyum içeren bir başka ağörgülü kovalent katı, silisyum dioksittir (SiO_2).

Elmas Şekil 12-32 de karbon atomlarının birbirine bağlanarak kristal oluşturma şekillerinden biri görülmektedir. Karbonların, dev moleküller

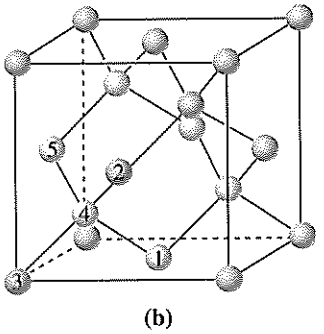
UNUTMAYINIZ

Merkez atomdan dörtyüzlünün köşelerine doğru yönelen dört bağ, sp^3 melezleşme şemasına uymaktadır.

▶ ŞEKİL 12-32
Elmas yapısı
(a) Lewis yapısı. **(b)** Kristal yapısı. Her karbon atomu diğerlerine bir dörtyüzlü oluşturucak biçimde bağlanmaktadır. Burada gösterilen kristal birimine birim hücre denir.



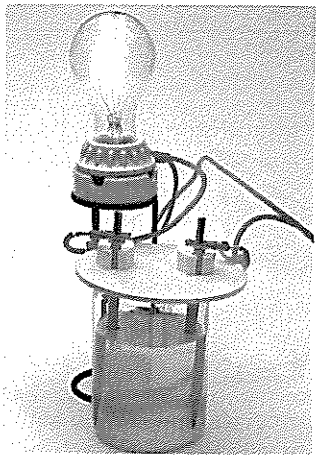
(a)



(b)

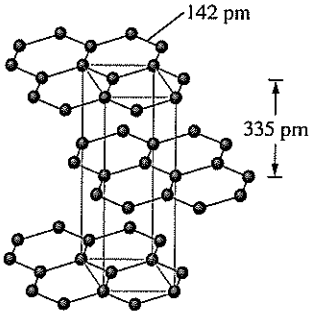
oluşturmak üzere birbirlerine nasıl bağlandıklarını göstermek için iki boyutlu Lewis yapısı yeterli olabilir (Şekil 12-32 a). Ancak bu yapı üç boyutlu molekül yapıları için uygun değildir. Üç boyutlu kristalleri yapı birimleri şeklinde yazmak kristal örgüsü hakkında daha çok bilgi verir (Şekil 12-32 b.) Şekilde görüldüğü gibi her bir atom dört başka atoma bağlıdır. 1, 2 ve 3 atomları bir düzlemde bulunur. 4. atom bu düzlemin üzerindedir. 4. atom merkez olmak üzere 1, 2, 3 ve 5 atomları bir düzgün dörtyüzlünün köşelerindedir. Kristal şemasına belirli bir açıdan bakıldığında bir altıgenin de mevcut olduğu görülür (gri yuvarlaklar).

Eğer karbon atomlarının yarısı silisyum atomlarıyla yer değiştirilirse, oluşan yapı silisyum karbürdür (karborundum). Hem elmas hem de silisyum karbür aşırı ölçüde serttir ve bu nedenle aşındırıcı olarak geniş ölçüde kullanılırlar. Gerçekte, elmas bilinen en sert maddedir. Elmas ya da silisyum karbürü çizmek ya da kırmak, kovalent bağların koparılmasını gerektirmektedir. Bu iki madde elektriği de iletmezler ve çok yüksek sıcaklıklara çıkılmadıkça erimez ve süblimleşmezler. SiC, 2700 °C de süblimleşir. Elmas 3500 °C nin üzerinde erir.



▲ **Grafit elektriği iletir** Grafitteki delokalize elektronlar elektriğin iletilmesini sağlar. Bu fotoğrafta "kurşun" kalem (aslında kil grafit karışımıdır) devreyi tamamlayan elektrot olarak kullanılmaktadır. Beher, kalem elektrotlar arasında akımı sağlayan iyonların çözeltisini içermektedir.

Grafit Karbon atomları elmasta olduğundan farklı bir biçimde bağlanarak, özellikleri elmasın özelliklerinden çok farklı başka bir katı oluştururlar. Bu bağlanmada $sp^2 + p$ orbital dizisi görev alır. Üç sp^2 melez orbitali bir düzlem oluşturur ve aralarındaki açı 120° dir. Melezleşmeye girmeyen p orbitali bu düzleme diktir. Orbitallerin yönleniş biçimi benzen molekülündekine benzer (Şekil 11-29). Atomların bu orbitaller üzerinden bağlanması Şekil 12-33 de gösterilen kristal yapıyı verir. Her karbon atomu, aynı düzlemdeki üç karbon atomuyla kuvvetli kovalent bağlar oluşturur. Bu bağlanmalar altıgen yapısında karbon tabakaları verir. Bu karbon atomlarının p elektronları *delokalize* olup iki karbon atomu arasındaki bölgede hapsedilmemiştir ve pek çok atom tarafından paylaşılmaktadırlar. Tabakalar içi bağlar kuvvetlidir, fakat tabakalar arası bağlar çok zayıftır. Bunu bağ uzunluklarında görebiliriz. Tabakalar içinde bağ uzunluğu 142 pm (benzendeki 139 pm ye yakın); tabakalar arasında ise 335 pm dir.



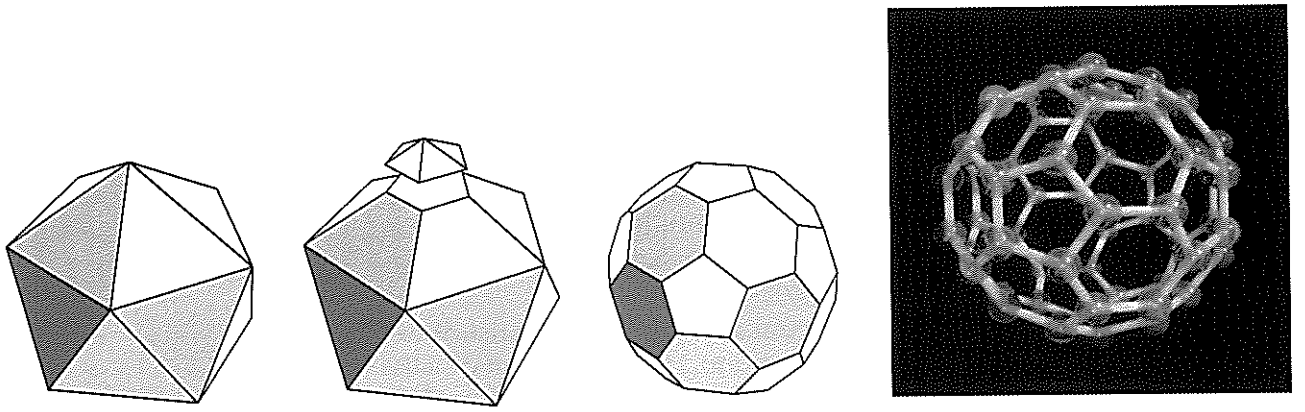
▲ **Grafitin yapısı.**

Bu benzersiz kristal yapısı, grafite kendine özgü özellikler kazandırır. Örneğin, tabakalar arası bağlar zayıf olduğundan, bu tabakalar birbiri üzerinde kolayca kayar. Bu nedenle grafit katı halde ve yağdaki süspansiyonu halinde iyi bir yağlayıcıdır.* Eğer bir grafit parçasına hafifçe bastırılırsa grafit tabakaları hemen kat kat ayrılır. Kurşun kalem kullanırken de aynı olay olmaktadır. Grafit tabakaları kağıt üzerine sıvanarak yazıyı oluşturmaktadır. p elektronları *delokalizedir* ve bir elektrik alanı uygulandığında bu elektronlar karbon düzlemleri boyunca göç ederler. Bu yüzden, grafit elektriği iletir. Bu özelliğinden dolayı grafit, pilde ve endüstriyel elektroliz işlemlerinde elektrot olarak kullanılmaktadır. Elmas ise elektriği iletmez. Çünkü tüm değerlik elektronları kovalent bağlarda lokalize olmuş, yani sabitlenmiştir.

Karbonun Diğer Allotropları

1985 de karbonun bugün için bilinen çok sayıdaki allotrop dizilerinden biri keşfedilmiştir. Dev kırmızı yıldızlardaki koşulları taklit eden deneyler tasarlanarak, çok sayıda karbon içeren moleküller kütle spektroskopisi yardımı ile keşfedilmiş ve yapıları aydınlatılmıştır. Elde edilen kütle spektrumunda en şiddetli pik C_{60} molekülüne karşılık olan 720 akb de görülmektedir. Böyle bir molekül için makul bir yapı önerisi bir hayli zaman almıştır. Bu yapının köşelerinde "boşlukta sallanan" bağlar kalması nedeniyle, ne elmas ne de grafit tipi yapı 60 karbon içeren molekülü açıklaya-

*Grafitin bu yağlayıcı özelliği, karbon atomu tabakaları arasında oksijen moleküllerinin bulunmasına da bağlı gözükmektedir. Grafit vakumda şiddetli biçimde ısıtıldığında yağlayıcı özelliğini yitirmektedir.

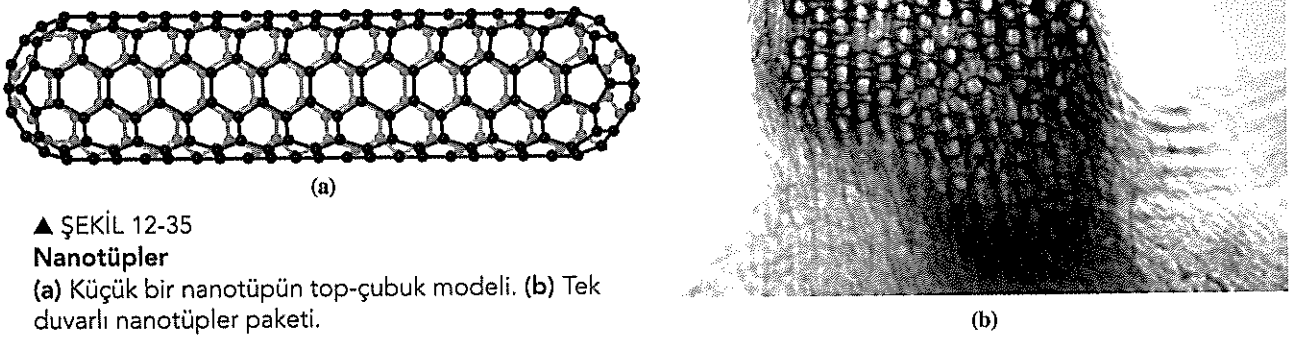


(a) (b) (c) (d)

▲ ŞEKİL 12-34
Fullerenler
(a) Bir ikozahedron, 20 eşkenar üçgenden oluşmuş bir şekil. 12 tane tepenin her biri beş üçgen içerir. **(b)** Bir tepenin kesilmesi ya da tıraşlanması yeni bir beşgen yüz oluşturur. **(c)** Tıraşlanmış ikozahedron. Özgün 12 tepenin yerini oniki beşgen almış ve 20 eşkenar üçgenin yerine 20 altıgen gelmiştir. **(d)** C_{60} Molekülü.

biliyordu. Sonunda X-ışını kristallografisi bulgularıyla da desteklenen *kısa ikozahedron* yapısı önerilmiştir. İkozahedron üç boyutlu yapıda, 60 karbonun köşeleri oluşturduğu 12 beşgen ve 20 altıgen yüz içerir (Şekil 12-34). Bu şekil bir futbol topuna ve aynı zamanda belirli jeodezik kubbelere benzer. Bu benzerlikten dolayı bu moleküle önce "buckminsterfullerenler" (R. Buckminster Fuller: bu molekül yapısını andıran bir tür kubbeyi tasarlayan mimarın adı) ismi önerilmiştir. Daha sonra basitçe *fullerenler* konuşma dilinde ise "bucky topu" adı verilmiştir. 1985 den beri C_{70}, C_{74}, C_{82} formüllerini içeren pek çok fulleren keşfedilmiştir. Fullerenler, başka atom ya da atom gruplarına bağlanarak, yahut da bazı atomları içlerine almak suretiyle bileşikler de oluşturabilmektedirler. Bugüne dek binlerce fulleren bileşikleri hazırlanmıştır.

Fullerenler üzerinde sürdürülen araştırmalar, *nanotüpler* denilen karbon allotropları ile ilgili bir keşfe daha yol açmıştır. Bir nanotüp yapısı şöyle canlandırılabilir: grafen tabakası denilen altıgen karbon halkalarından oluşmuş iki boyutlu tabakaların, bir silindirin üzerine sarılmasıyla oluşmuş bir yapı olarak düşünülebilir. (tavuk kafesi telinden yapılmış silindirin doğal benzeri). Silindirin iki ucu birer fullerenle kapanmıştır (Şekil 12-35). Bu tüplerin çapı birkaç nanometre mertebesindedir (bu



(a) (b)

▲ ŞEKİL 12-35
Nanotüpler
(a) Küçük bir nanotüpün top-çubuk modeli. **(b)** Tek duvarlı nanotüpler paketi.

yüzden *nano*tüp denir). Uzunlukları birkaç nanometreden bir veya birkaç mikrometreye kadar değişebilir. Nanotüpler, makroskopik dünyada ve daha çok *nanoteknolojinin* alt-mikrospik dünyasında bazı uygulamalar vaat eden elektronik ve mekanik özelliklere sahiptirler. Örneğin nanotüpler günün birinde nanoölçekli elektronik cihazlarda moleküler kablolar oluşturmakta kullanılabilirler.

İyonik Katılar

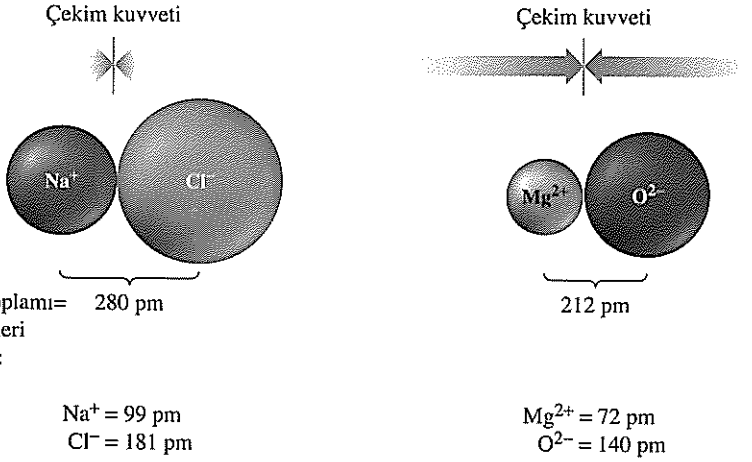
İyon ilk katıları incelerken aklımıza ilk gelen soru şudur: İyonik bir kristali parçalayarak iyonlarına ayırmak ne kadar zordur? Bu sorunun yanıtı bir kristalin *örgü enerjisi*nde gizlidir. **Örgü enerjisi,** *gaz* haldeki bağımsız pozitif ve negatif iyonların bir araya gelerek *bir mol katı* iyonik bileşiği oluşturdukları zaman açığa çıkan enerjidir. Örgü enerjileri, inorganik bileşiklerin erime noktalarının ve sudaki çözünürlüklerinin kestirilmesinde yararlı olabilir. Örgü enerjilerinin nasıl hesaplandığı Kesim 12-9 da ele alınacaktır. Ancak burada *iyonlar arası kuvvetler*in yalnızca *nitel* bir karşılaştırmasını yapmak istiyoruz. Bu konuda şu genelleme oldukça işe yarar:

> Zıt yüklü iyon çiftleri arasındaki çekim kuvveti, iyon yüklerinin artmasıyla artar, iyon boyutlarının artmasıyla azalır.

Bu görüş Coulomb yasasına dayanır (Ek-B) ve Şekil 12-36 da şematik olarak gösterilmiştir.

İyonik bileşiklerin pek çoğunda örgü enerjileri, iyonun kendiliğinden kristalden ayrılıp gaz haline geçmesini önleyecek kadar büyüktür. Bu yüzden iyonik katılar normal sıcaklıklarda süblimleşmezler. Kristal örgüsü, bu örgüyü bozmaya yetecek kadar enerji verilerek, eritilebilir. Genel olarak, örgü enerjisi arttıkça erime noktası yükselir.

İyonik bir kristalin herhangi bir çözücüde çözünebilmesi için iyonik kristali parçalamak için gerekli olan enerji çözücü molekülleri ile kristaldeki iyonlar arasında ortaya çıkan etkileşimden sağlanır. Bir iyonik katının bir çözücüde çözünmesi, kısmen örgü enerjisine bağlıdır. Genel olarak, kristalin örgü enerjisi azaldıkça, belli bir miktar çözücüde çözünebilecek iyonik katı miktarı artar.



▲ ŞEKİL 12-36
İyonlar arası çekim kuvvetleri
Daha büyük yüklere sahip ve iyon merkezleri birbirine daha yakın olan Mg^{2+} ve O^{2-} iyonları arasındaki iyonik çekim kuvveti, Na^+ ve Cl^- arasındaki çekim kuvvetinin yaklaşık yedi katıdır.

ÖRNEK 12-8 İyonik Bir Bileşiğin Fiziksel Özelliklerinin Kestirilmesi

KI ve CaO iyonik bileşiklerinden hangisinin erime noktası daha yüksektir?

Analiz

Erime noktaları da tıpkı kaynama noktaları gibi moleküller arası kuvvetlere bağlıdır. İyonik bileşiklerin erime noktaları, Coulomb yasasına uyan iyonlar arası kuvvetlere bağlıdır.

Çözüm

Ca^{2+} ve O^{2-} iyonlarının yükü K^+ ve I^- iyonlarının yükünden daha büyüktür. Ca^{2+} iyonu K^+ iyonundan ve O^{2-} iyonu I^- iyonundan küçüktür. Buna göre, CaO örgü enerjisinin KI ün örgü enerjisinden kesinlikle büyük olması beklenir. CaO in erime noktası daha yüksek olmalıdır. (Gözlenen erime noktaları KI için 677 °C ve CaO için 2590 °C dir).

Değerlendirme

Bu problemde iyonlar arası kuvvetlere katkıda bulunan iki etken görülüyor: yük ve iyon yarıçapı.

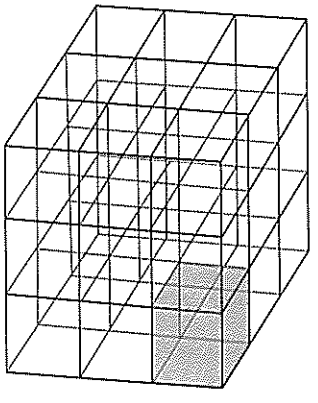
ALIŞTIRMA A: KI den daha küçük erime noktasına ve CaO den daha yüksek erime noktasına sahip birer iyonik bileşik öneriniz.

ALIŞTIRMA B: NaI ve $MgCl_2$ tuzlarından hangisinin sudaki çözünürlüğünün daha büyük olmasını beklersiniz? Açıklayınız.

12-6 Kristal Yapılar

Kristaller, düz yüzeylere, keskin köşelere ve düzenli geometrik biçimlere sahip katı yapılar olmalarından dolayı (buz, kaya tuzu, kuvars ya da süs taşları gibi) eski çağlardan beri ilgi uyandırmışlardır. Oysa, kristallerin yapıları ancak yakın zamanlarda anlaşılabilmiştir. Kristal yapıların aydınlatılması, optik mikroskobun keşfiyle başlamış ve X-ışınlarının keşfiyle büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Bugün artık biliyoruz ki, kristallerde gözlenen düzenli yapı onları oluşturan atom, iyon ya da moleküllerin düzenleniş şeklinden kaynaklanmaktadır.

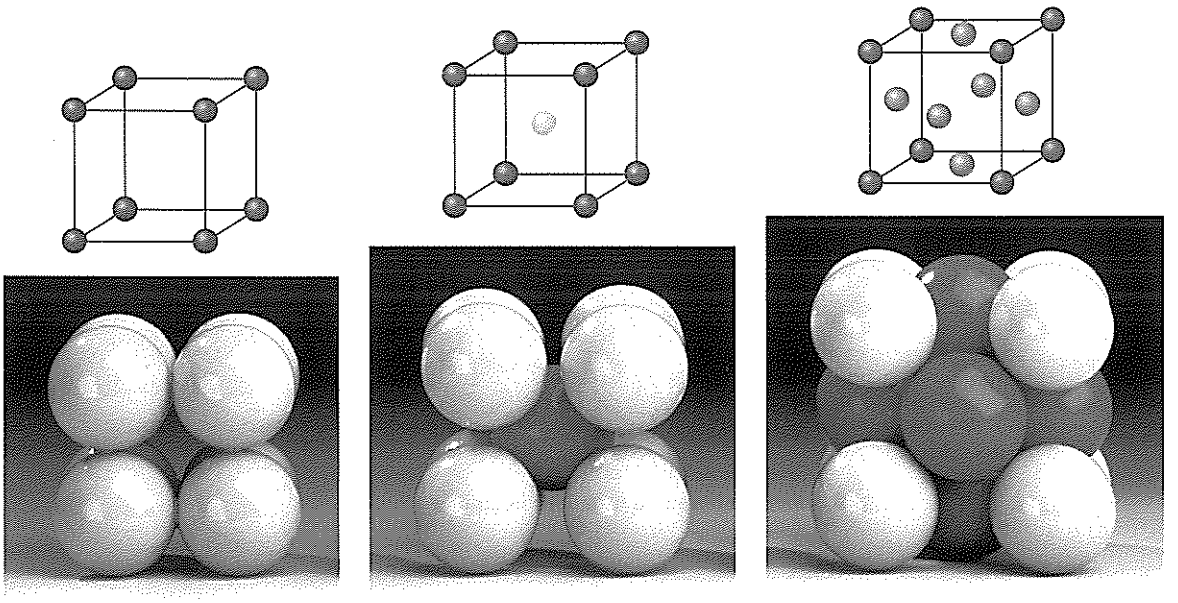
Kristal Örgüleri



▲ ŞEKİL 12-37
Kübik örgü
Birbirine dik düzlemlerin kesişmesiyle oluşan bir paralelyüz yeşille gösterilmiştir. Bu bir küptür. Bu küpün birbirine dik üç yönde (yani sağa-sola, aşağı-yukarı ve öne- arkaya) basit hareketleriyle sonsuz örgü oluşturulabilir.

Bir yeri dekore etmek ya da süslemek için duvar kağıdı yapıştırırken, yer karosu döşerken ya da süslü çerçeveler yaparken tek boyutlu ya da iki boyutlu desenlerden yararlanmayı düşünmüşsünüzdür. Öyleyse, böyle desenleri az çok bilirsiniz. Tıpkı yukarıdaki örnekler gibi, kristallerin yapısını anlayabilmek için de *üç* boyutlu desenlerle uğraşmak zorundayız. Bunun için Şekil 12-37 deki gibi bir *örgüyü* ele alalım: Burada düzenleniş eşit aralıklı ve birbirine diktir (90° açıyla kesişirler). Böyle bir örgüye *kübik* örgü denir. Bazı kristallerin yapılarını incelerken bu tür bir yapıdan yararlanabiliriz. Başka kristallerde düzlemler eşit aralıklı olmayabilir ya da 90° den farklı bir açıyla kesişebilirler. Kristal örgüleri için toplam yedi olasılık vardır. Biz burada yalnızca kübik örgüyü ele alacağız.

Örgü düzlemleri üç boyutlu şekiller verecek biçimde kesişirler ve birbirlerine paralel altı yüz oluşur. Böyle şekillere *paralelyüz* adı verilir. Şekil 12-37 de verilen paralelyüz bir küptür. Bu küpün, birbirine dik üç boyutta hareket etmesiyle tüm örgüyü oluşturmak mümkündür. İşte böyle bir paralelyüze **birim hücre** denir. Üç boyutlu uzay örgüsünde, kristalin yapı elemanları (atom, iyon ya da moleküller) örgü noktalarının merkezlerini oluşturacak biçimde düzenlenebilir. Eğer atom, iyon ya da moleküller birim hücrenin yalnızca köşelerine yerleşmişse, bu yapıya basit birim hücre denir. Bu birim hücrelerin oluşturduğu kristale de *basit kübik yapı* kristalleri adı verilir. Eğer birim hücrenin köşelerine ek olarak, merkezine de bir tanecik yerleşirse bunlara **iç merkezli kübik (imk)** yapı denir. Bundan



Basit kübik yapı İç merkezli kübik yapı Yüzey merkezli kübik yapı

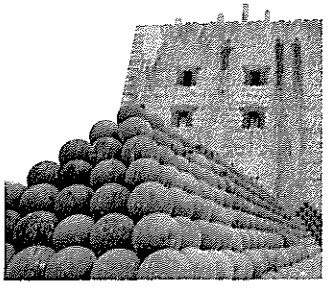
▲ ŞEKİL 12-38
Kübik kristal sistemde birim hücreler
Üstteki top–çizgi modelinde kürelerin (atomlar) yalnızca merkezleri gösterilmiştir. Alt sıradaki modellerde ise gerçeğinde olduğu gibi küreler (atomlar) temas etmektedir. Basit kübik hücrede köşelerdeki küreler temastadır. İç merkezli kübik (imk) hücrede köşegenler üzerindeki küreler temastadır. Yüzey merkezli kübik hücrede (ymk) ise yüzey köşegenleri üzerindeki küreler temastadır.

başka, birim hücrenin köşelerine ve her bir yüzeyinin ortasına birer tanecik yerleşirse **yüzey merkezli kübik (ymk)** yapı oluşur. Bu birim hücreler Şekil 12-38 de görülmektedir.

Sık İstiflenmiş Yapılar

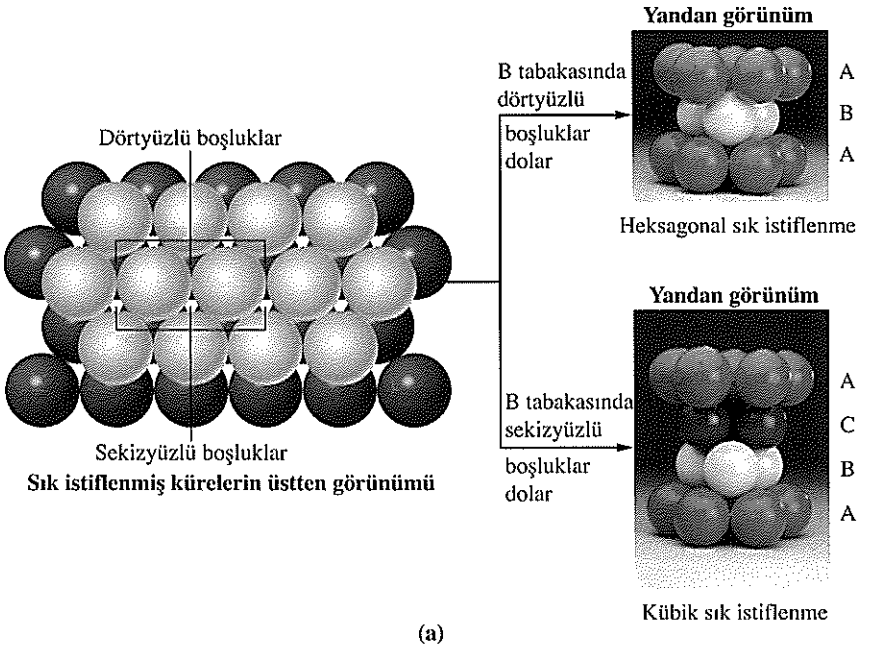
Kutuları bir yere istiflerseniz, aralarında hiç bir boşluk kalmaz. Buna karşın, küreleri istiflerseniz aralarında bazı boşluklar kalır. Buna rağmen, küreleri öyle istifleme biçimleri bulabilirsiniz ki, aralarındaki boşluklar en aza indirilebilir. İşte kürelerin aralarındaki boşlukların en aza inecek şekilde istiflenme biçimlerine sık istiflenme denir. Böyle istiflenmeler bir kısım kristallerde gözlenir.

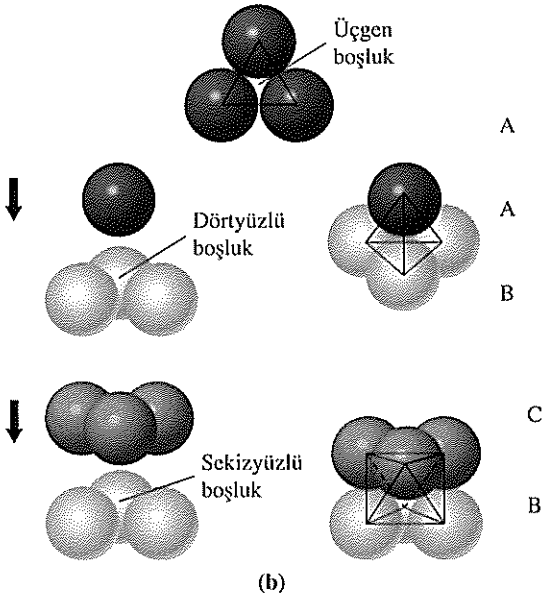
Sık istiflenmiş yapıları anlayabilmek için Şekil 12-39(a) yı ele alalım ve tabakalardan bir tekini (A tabakası) gözümüzün önüne getirelim. Kırmızı renkli A küre tabakasındaki her bir küre, başka altı küre ile heksagonal biçimde temastadır. Dikkat ederseniz, küreler arasında boşluklar vardır. Üç kürenin arasında oluşan üçgen biçimindeki boşluğa *trigonal boşluk* denir (Şekil 12-39b). İkinci B tabakasına (sarı) ilk küre yerleştiğinde, bu tabaka tamamen sabitleşir. Yine B tabakasında da boşluklar vardır. Fakat bu boşluklar iki tiptir: *Dörtyüzlü boşluklar*, A tabakasındaki *küreler*in tam altına gelir. *Sekizyüzlü boşluklar*, A tabakasındaki *boşlukları*n tam altına gelir (Şekil 12-39b).



▲ Sık istiflenmiş gülle piramidi. Marketlerdeki portakallar kaymalarını önlemek için heksagonal sık istiflenmiş piramit biçiminde yerleştirilirler.

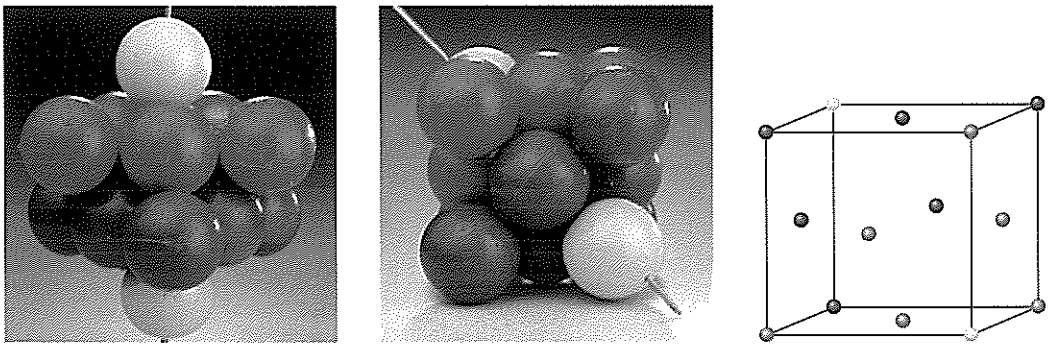
Bu durumda üçüncü, C tabakası için iki olasılık vardır (Şekil 12-39a). **Heksagonal sık istiflenme (hsi)** denen düzenlemede tüm dörtyüzlü boşlukları dolar. C tabakası A tabakasının aynıdır ve bu yapı yinelenerek kristali oluşturur. **Kübik sık istiflenme** denilen bir başka düzenlemede tüm sekizyüzlü boşluklar doldurulur. C tabakasındaki küreler (mavi), A daki kürelerle aynı doğru üzerinde değildirler. Dördüncü tabaka eklendikten sonra yapı kendini yinelemeye başlar.





▲ ŞEKİL 12-39
Sık istiflemiş yapılar
(a) A tabakasındaki küreler kırmızıdır, B deki küreler sarı ve C deki küreler mavidir. **(b)** Sık istiflenmiş yapılarda boşluklar. Üçgen boşluklar bir tabakadaki üç kürenin oluşturduğu boşluklardır. Alttaki bir tabakanın çukurluğuna bir küre yerleştiğinde dörtyüzlü boşluk oluşur. Üçer kürelik iki grubun arasındaki tabakada, sekizyüzlü boşluklar oluşur.

Şekil 12-40 incelenirse, buradaki kübik sık istiflenmenin yüzey merkezli kübik (ymk) birim hücre olduğu görülür. Heksagonal sık istifli yapının birim hücresi ise Şekil 12-41 de gösterilmiştir. Hem *hsi* hem de *ymk* yapılardaki toplam boşluk hacmi yapının toplam hacminin %25,96 sıdır. Kürelerin yerleşmesinde çok sıkı olmayan bir istiflenme biçimi de iç merkezli kübik (*imk*) birim hücreye sahip olan istiflenmedir. Bu yapıda boşluk hac-



▲ ŞEKİL 12-40
Kübik sık istiflenmiş kürelerde yüzey merkezli kübik birim hücre
Solda kübik sık istiflenmiş küreler blokundan alınmış 14 küre. Ortadaki iki tabaka altışar atom; alt ve üstteki tabakalar birer atoma sahiptirler. Bu 14 kürelik grubun döndürülmesi, bir yüzey merkezli kübik birim hücre verir.

ÇİZELGE 12.6 Kübik Sistemde Eş Kürelerin İstiflenmesinin Dört Yolu

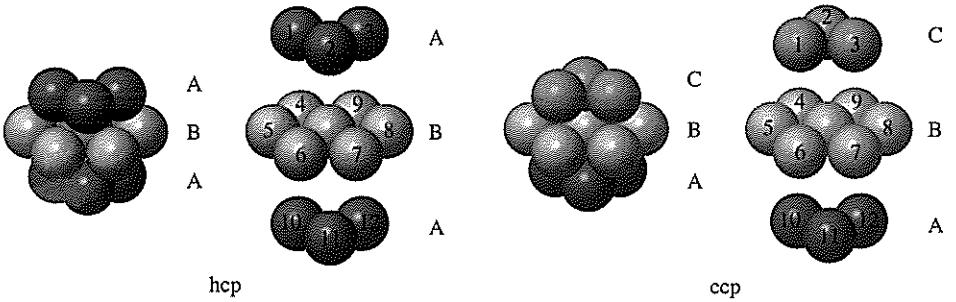
Birim Hücre	Koordinasyon Sayısı	Birim Hücredeki Atom Sayısı	Doluluk Oranı, %	Örnek
Basit kübik	6	1	52	Po
İç merkezli kübik (imk)	8	2	68	Fe, Na, K, W
Hekzagonal sık istiflenme (hsi)	12	2	74	Cd, Mg, Ti, Zn
Yüzey merkezli kübik (ymk)	12	4	74	Ag, Cu, Pb

Not: Yüzey merkezli kübik (ymk) kübik sık istiflenmeye (ksi) eşdeğerdir.

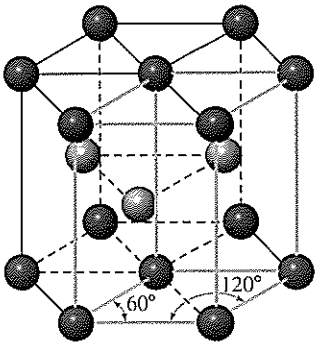
mi, toplam hacmin %31,98 i kadardır. Sık istifli yapıya sahip kristallere en iyi örnekler metal kristalleridir. Çizelge 12-6 da bunlara bazı örnekler verilmiştir.

Koordinasyon Sayısı ve Birim Hücredeki Atom Sayısı

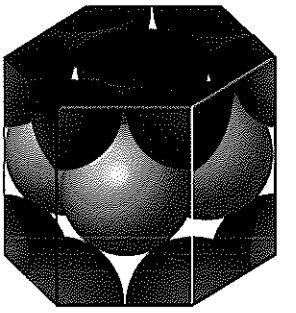
Atomların sık istifli yapılarında, her atom birkaç başka atoma değmektedir. Örneğin, Şekil 12-38 de iç merkezli kübik (*imk*) birim hücrede merkez atomun tüm köşe atomları ile temasta olduğunu görebiliyor musunuz? Herhangi bir atomla temasta bulunan atomların sayısına o *kristalin koordinasyon sayısı* denir. *imk* yapıda koordinasyon sayısı 8, *ymk* ve *hsi* yapılarında ise bu sayı 12 dir. Şekil 12-39 a dikkat ederseniz her bir küre, içinde bulunduğu tabakada *altı küre*, üstteki tabakada *üç* küre ve alttaki tabakada yine *üç* küre ile temastadır.



▲ ***hsi* ve *ksi* yapıların koordinasyon sayılarının gösterilmesi**

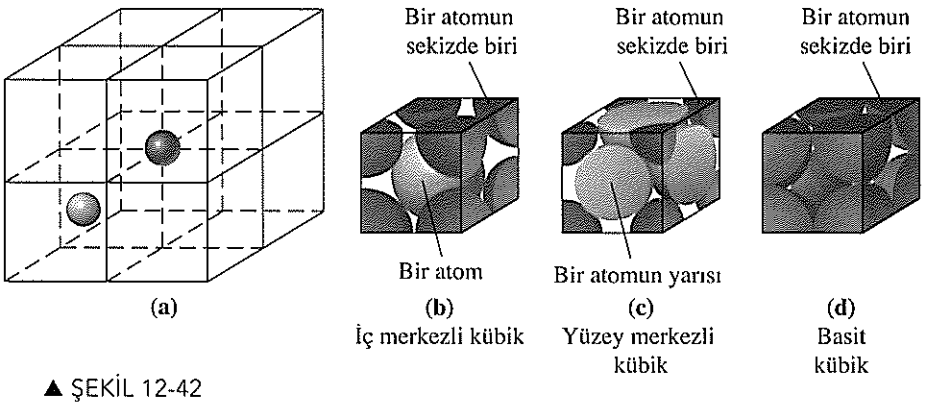


(a)

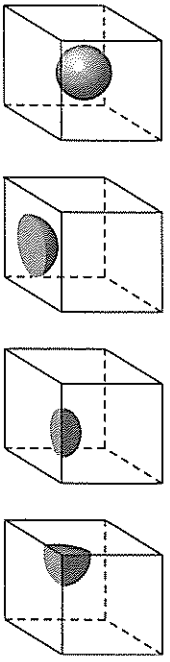


(b)

▲ ŞEKİL 12-41
Sık istiflenmiş heksagonal (*hsi*) kristal yapı
(a) Birim hücre koyu siyah çizgilerle çerçevelenmiştir. Bu hücrenin parçası olan atomlar bu çerçevenin içindedir. Bu birim hücrenin paralelyüzlü olmakla birlikte küp olmadığına dikkat ediniz! Bitişik üç hücre de gösterilmiştir. Çerçevelenmiş birim hücre ve kesikli çizgilerle işaretlenen bölgeler birlikte, Şekil 12-39 da betimlenen tabakalanmayı (ABA) göstermektedir. **(b)** Hekzagonal prizma, köşelerdeki ortaklaşılan küreleri ve birim hücre merkezindeki tek küreyi göstermektedir.



▲ ŞEKİL 12-42
Atomların birim hücreler arasında paylaşılması
(a) Sekiz birim hücre çizilmiştir. Mavi birim hücre esas alınmıştır. Basitlik için yalnızca iki atom çizilmiştir. Mavi hücrenin merkezindeki atom tümüyle bu hücreye aittir. Köşe atomunun sekiz birim hücre tarafından paylaşıldığı görülmektedir. **(b)** İç merkezli bir birim hücrede paylaşılan küreler. **(c)** Yüzey merkezli bir birim hücrede paylaşılan küreler. **(d)** Basit kübik birim hücrede paylaşılan küreler. Buradaki küreler aynı atomlardır, renkler vurgu için kullanılmıştır.



▲ **Birim hücreler arasında kürelerin paylaşılması. Birim hücrenin ortasındaki küre paylaşılmaz; yüzeydeki kürenin ½ si paylaşılır; kenardakinin ¼ ü ve köşedekinin 1/8 i paylaşılır.**

İç merkezli kübik birim hücreyi göstermek için dokuz atom kullanmamıza karşın, bu hücrede dokuz atom bulunduğunu söylersek yanlış olur. Şekil 12-42(a) da gösterildiği gibi, yalnızca merkezdeki atom *tümüyle* bu *imk* birim hücreye aittir. Köşe atomları bitişik sekiz birim hücreye ait olmalıdır (Şekil 12-42b). Bu durumda sekiz köşe atomu, bir birim hücreye yalnızca *bir* atom katkıda bulunur. Buna göre imk birim hücrede toplam atom sayısı *iki*dir, yani $1 + 8 \times \frac{1}{8} = 2$'dir. Şekil 13-41 deki *hsi* birim hücrede de, doğru bir sayımla, *iki* atom bulunduğunu görürüz. Birim hücrenin köşe atomlarından $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ atom ve merkez atom tümüyle bu birim hücreye aittir. *ymk* birim hücresinde köşe atomlarının hücreye katkısı 1 atom ve yüzey merkezlerindeki atomların katkısı ise $\frac{1}{2} \times 6 = 3$ atomdur. Yani *ymk* birim hücrede toplam *dört* atom vardır (12-42c). Basit kübik birim hücre ise yalnızca *bir* atom içerir (Şekil 12-42d).

12-2 MERAK EDİYORSANIZ...

Kristallerde boşlukların hacmi nasıl hesaplanır?

Örnek olarak iç merkezli kübik (*imk*) yapıyı ele alalım. Dolu hacmin birim hücre hacmine oranı,

$$f_v = \frac{\text{birim hücredeki kürelerin hacmi}}{\text{birim hücre hacmi}}$$

Atom yarıçapı r olursa, atomun hacmi $(4/3)\pi r^3$ formülü ile hesaplanır. Şekil 12-45'de ki *imk* için küpün bir kenarı $l = r(4/\sqrt{3})$ olur. *imk için*, birim hücrede iki tam küre bulunduğundan

$$f_v = \frac{2 \times (4/3)\pi r^3}{[r(4/\sqrt{3})]^3} = 0{,}6802$$

sonucu elde edilir. Bu durumda birim hücrenin % 68,02 si dolu % 31,98 i ise boştur. Boş hacim yüzdesinin, kürelerin (atomların) yarıçaplarına bağlı olmadığını da vurgulamalıyız.

X-Işını Kırınımı

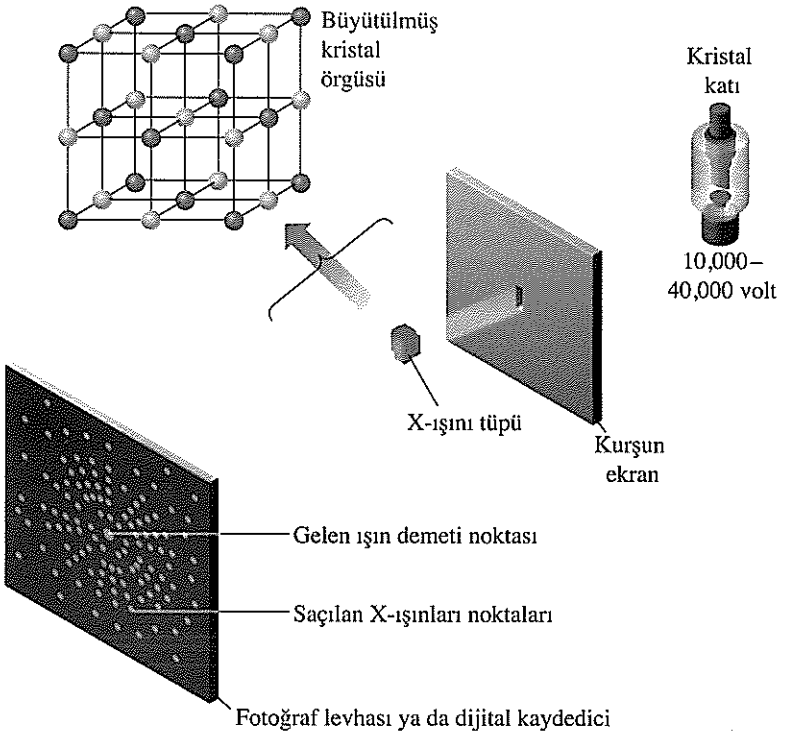
Makroskopik nesneleri görünür ışık yardımıyla gözle görebiliriz. Buna karşın bir kristaldeki atom, iyon ya da moleküllerin nasıl istiflendiğini "görmek" için, çok kısa dalgaboylu ışığa gereksinim vardır. Bir X-ışınları demeti atomlarla karşılaştığında, X-ışınları atomun elektronları ile etkileşir ve ışın demeti ya yeniden yayılır, ya kırınıma uğrar ya da bütün yönlerde saçılır. Saçılan ışının deseni, atomlardaki yük dağılımı ile bağlantılıdır. Saçılan bu X-ışınları, fotoğraf filminde görünür bir desen oluşturur. Ancak bu görünür desen yardımıyla maddenin mikroskopik yapısı çıkarılabilir. Bu çıkarımda ne kadar başarılı olacağımız, yani ne kadar "bilgi" alabileceğimiz, bizim elde ettiğimiz saçılan ışının miktarına bağlıdır. X-ışını kırınımı yönteminin gücü, muazzam miktardaki X-ışını verilerini işleyecek yüksek hızlı bilgisayarlar kullanımıyla, büyük ölçüde artmıştır.

◀ X-ışını kırınımı yöntemi Max von Laue (1914 Nobel Ödülünü almıştır) tarafından bulunmuş, fakat baba-oğul Bragg'lar tarafından geliştirilmiştir. 1915'de babası William Henry Bragg ile birlikte Nobel ödülü kazandığında, William Lawrence Bragg sadece 25 yaşındaydı.

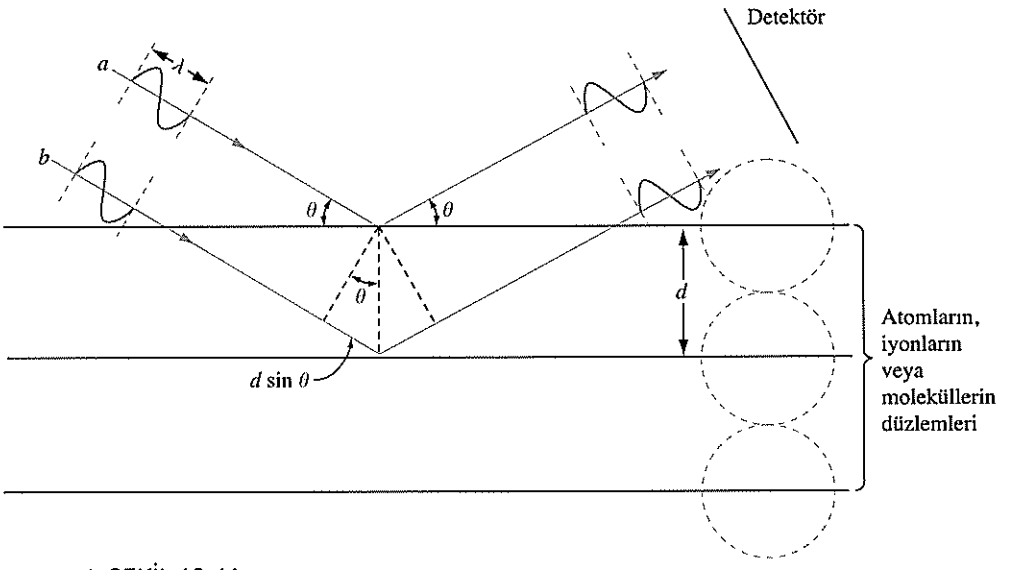
Şekil 12-43, X-ışınlarının bir kristal tarafından saçılmasını gösterir. X-ışını verileri, W.H. Bragg ve W.L. Bragg tarafından 1912 de önerilen geometrik analizle (Şekil 12-44) açıklanabilir. Burada monokromatik (tek dalgaboylu) X-ışını demetinin a ve b ile gösterilen iki ışını çizilmiştir. a dalgası, kristaldeki atom ya da iyon düzlemlerinden birinden yansırken, b dalgası bu düzlemin altındaki bir sonraki düzlemden yansımaktadır. b dalgası a dan daha fazla yol almaktadır. Bu fazla yol $2d \sin\theta$ değerine eşittir. Eğer a ve b dalgaları birbirlerini güçlendirir, yani dalga maksimum ve minimumları çakışırsa, saçılma şiddeti en büyük olmaktadır. Bunun sağlanması için, b dalgasının katettiği fazla yol, X-ışını dalgaboyunun tam katı olmalıdır.

$$n\lambda = 2d \sin\theta \qquad (12.5)$$

Saçılan X-ışınlarının en şiddetli olduğu gelme açısı (θ) ölçülür ve X-ışınının dalgaboyu (λ) da bilinirse, atom düzlemleri arasındaki uzak-



▲ ŞEKİL 12-43
Bir kristalin X-ışını kırınımı
X-ışını kırınımı, bir kristalde 20 düzlemden daha fazla olmayan bir kalınlıktan saçılır. Tek bir kristal boyutu kırınım için yeterli yüzeyi sağlamaya yeter. Ancak birkaç yüzeyin işe karışması kırınımı belirginleştirir.



▲ ŞEKİL 12-44
Kristal yapısının X-ışınları kırınımı ile belirlenmesi
Kesikli çizgilerle gösterilen iki üçgen özdeştir. Bu üçgenlerin ortak hipotenüsü atomlar arası uzaklığa yani *d*'ye eşittir. Bu nedenle θ açısının karşısındaki kenarın uzunluğu, $d \sin \theta$ değerine sahiptir. Sonuç olarak, *b* dalgası *a* dalgasından $2d \sin \theta$ kadar fazla yol kat eder.

lık *(d)* hesaplanabilir. Kristalin çeşitli yönlerinden X-ışınları uygulanarak, atom büyüklükleri arasındaki boşluklar ve kristalin çeşitli yönlerindeki elektron yoğunlukları bulunabilir. Kısacası X-ışınları kırınımı ile bir kristalin yapısını belirleyebiliriz.

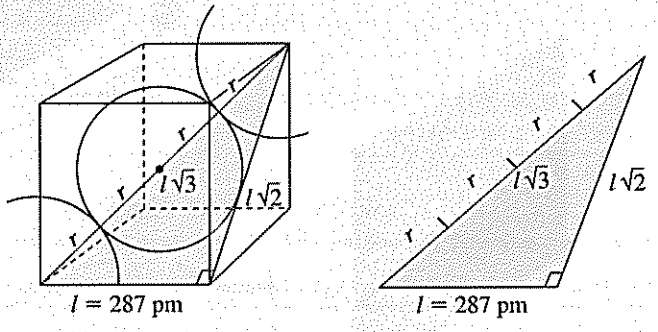
Kristal yapısı bulunduktan sonra, kristalin başka bazı özellikleri hesap yoluyla belirlenebilir. Metallerde atom yarıçapının nasıl hesaplandığı Örnek 12-9 da ve kristal katıların yoğunluklarının nasıl bulunduğu Örnek 12-10 da gösterilmiştir. Her iki işlemde de ya kristalin birim hücresi çizil-

ÖRNEK 12-9 Atom Yarıçapının Belirlenmesinde X-Işını Verilerinin Kullanılması

Oda sıcaklığında demir *imk* yapıda kristallenir. Şekil 12-45 de gösterilen küpün bir kenarı, X-ışınları kırınımı yardımıyla 287 pm bulunmuştur.
Demir atomunun yarıçapı nedir?

Analiz

imk birim hücre dokuz atomdan oluşur. Küpün sekiz köşesinde birer atom ve merkezde bir atom bulunur. Küpün köşegeni boyunca üç atom temastadır. Küpün köşegeninin uzunluğu (en uzaktaki üst-sağ köşeden, en yakın sol-alt köşeye) atom yarıçapının dört katıdır. Şekil 12-45 de de gösterildiği gibi, bu köşegenin uzunluğu $\sqrt{3} \times l$ ye eşittir. Kenar uzunluğu, l verilmiştir.



▲ ŞEKİL 12-45
Örnek 12-9 daki demir atomunun yarıçapının belirlenmesi
Bu dik üçgen, $a^2 + b^2 = c^2$ Pisagor formülüne uyar. Yani, kenar uzunluğu l olan bir küp için, $(l)^2 + (l\sqrt{2})^2 = (l\sqrt{3})^2$ ya da $(l)^2 + 2(l)^2 = 3(l)^2$

Çözüm

Küp köşegeninin uzunluğunu atom yarıçapları cinsinden yazar ve demir atomunun yarıçapını hesaplarız.

$$4r = l\sqrt{3}$$

$$r = \frac{\sqrt{3} \times 287\,\text{pm}}{4} = \frac{1{,}732 \times 287\,\text{pm}}{4} = 124\,\text{pm}$$

Değerlendirme

Her birim hücrede atomların düzenlenmesini ve köşelerdeki atomların birim hücreler arasında paylaşıldığını bilmenin önemli olduğu görülüyor.

ALIŞTIRMA A: Potasyum *imk* yapıda kristallenir. Bu yapıda birim hücrenin uzunluğu nedir ? Şekil 9-9 da verilen potasyum metal yarıçapını kullanınız.

ALIŞTIRMA B: Alüminyum *ymk* yapıda kristallenir. Al un atom yarıçapı 143,1 pm olduğuna göre, birim hücrenin hacmi nedir?

miş ya da birim hücrenin uygun bir biçimde canlandırılması yoluna gidilmiştir. Daha açık bir deyişle, böyle hesaplamaları yapabilmek için hangi atomların birbiri ile temasta olduğunu bilmek gerekir.

ÖRNEK 12-10 Yoğunluk ile Kristal Yapısının İlişkisi

Örnek 12-9 daki verileri, demirin mol kütlesini ve Avogadro sayısını kullanarak, demirin yoğunluğunu hesaplayınız.

Analiz

Yoğunluğu hesaplamak için birim hücre kütlesine (gram) ve hacmine (cm^3) gereksinmemiz vardır. Çizelge 12-6 dan *imk* birim hücrede net olarak *iki* demir atomu bulunduğu görülüyor. Bize, bu iki atomun kütlesi gerekmektedir.Yukarıdaki örnekten ise birim hücre boyutunun l= 287 pm=287×10^{-12} m =$2{,}87 \times 10^{-8}$ cm olduğunu biliyoruz. Bunu, demirin yoğunluğunu hesaplamada kullanabiliriz.

Çözüm

Bu iki demir atomun kütlesini bulmak için, 1 mol Fe = $6{,}022 \times 10^{23}$ Fe atomu= 55,85 g Fe bağıntılarından çevirme faktörünü kullanırız.

$$m = 2\,\text{Fe atomu} \times \frac{55{,}85\,\text{g Fe}}{6{,}022 \times 10^{23}\,\text{Fe atomu}} = 1{,}855 \times 10^{-22}\,\text{g Fe}$$

Bu birim hücrenin hacmi ise $V = l^3 = (2{,}87 \times 10^{-8})^3\ cm^3 = 2{,}36 \times 10^{-23}\ cm^3$ tür. Yoğunluk kütlenin hacmine oranıdır:

$$\text{Fe nin yoğunluğu} = \frac{m}{V} = \frac{1{,}855 \times 10^{-22}\,\text{g Fe}}{2{,}36 \times 10^{-23}\,cm^3} = 7{,}86\,\text{g Fe}\,cm^{-3}$$

Değerlendirme

Kristal maddelerin yoğunluğunu belirleyebilmenin diğer bir yolu kristal yapısı verilerini kullanmaktır. Bu yöntem özellikle, elimizde çok az miktarda bulunan yeni bileşik ya da materyallerin özelliklerinin araştırılmasında işe yarar. Bir metalin deneysel olarak bulunan yoğunluğunun ve hücre kenar uzunluğunun kullanılmasıyla birim hücre tipi kararlaştırılır.

ALIŞTIRMA A: Alıştırma 12-9 A daki sonuçları, potasyumun mol kütlesini ve Avogadro sayısını kullanarak, potasyumun yoğunluğunu hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: Alıştırma 12-9 B deki verilerden, alüminyumun mol kütlesinden ve yoğunluğundan (2,6984 g cm^{-3}) yararlanarak, Avogadro sayısını, N_A, hesaplayınız. [*İpucu:* Al un yoğunluğu ile birim hücre hacminden, birim hücre kütlesini hesaplayabilirsiniz. *ymk* birim hücredeki atom sayısı bilindiğinden tek Al atomunun kütlesini bulabilirsiniz.]

12-8 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Belirli bir atom düzlemi için λ dalgaboylu X-ışınının θ açısıyla birinci derece kırınıma uğradığını varsayınız. Aynı atom düzleminden aynı açıyla ikinci derece kırınım gözlemek için X-ışını dalgaboyu bir çarpanla çarpılmalıdır. Bu çarpan nedir?

UNUTMAYINIZ

Katyonların yarıçapı hemen her zaman anyonların yarıçapından küçüktür (Bölüm 9).

İyonik Kristal Yapılar

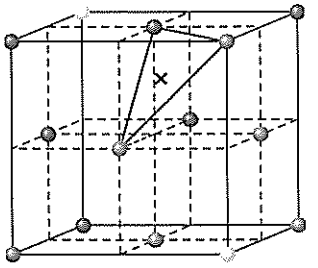
İyonik kristallere küre istiflenme modelini uygulamaya çalıştığımızda iki güçlükle karşılaşırız: (1) iyonların bir bölümü pozitif, bir bölümü negatif yüklüdür ve (2) bu anyon ve katyonlar farklı büyüklüklerdedir. Bununla birlikte, bu zıt yüklü iyonlar birbirini çekerler ve bir araya gelirler. Genel olarak bu iyonların temasta olduğunu kabul ederiz. Aynı yükle yüklenmiş iyonlar birbirini iterler ve bunlar birbirine temas edemezler. Buna göre iyonik kristalleri şöyle düşünebiliriz: Aynı yüklü iyonlar gevşekçe istiflenmiş ve bunların aralarındaki boşluklara zıt yüklü iyonlar girmiştir. İyonların sık istiflenmesinde anyon ve katyonların göreceli boyutlarının önemli olduğunu unutmayınız.

İkili iyonik katıların en yaygın düzenlenme biçimi, yüzey merkezli kübik yapıdır. Genel olarak bu iyonlardan biri ve çoğu kez anyon, yüzey merkezli kübik yapıda düzenlenir ve katyon sık istiflenmiş küreler arasındaki boşluğu doldurur. Şekil 12-46 da sık istiflenmiş kübik yapıda görülen üç tür boşluk (üçgen, dörtyüzlü ve sekizyüzlü) gösterilmiştir. Boşlukların boyutu, yapıyı oluşturan anyonların çapına, R, bağlıdır. Şekil 12-47 sekizyüzlü boşluğun kesitini göstermektedir. Bu boşluğa girebilecek katyonun yarıçapı, r, Pisagor bağıntısı kullanılarak aşağıdaki gibi bulunabilir.

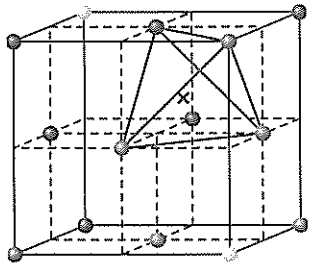
$$(2R)^2 + (2R)^2 = (2R + 2r)^2$$
$$2\sqrt{2}R = 2R + 2r$$
$$(2\sqrt{2} - 2)R = 2r$$
$$(\sqrt{2} - 1)R = r$$
$$r = 0{,}414\,R$$

Benzer hesaplamalarla dörtyüzlü ve üçgenboşluklar için sırayla $r = 0{,}225\,R$ ve $r = 0{,}155\,R$ değerleri bulunabilir. Bu hesaplamalar, sık istiflenmiş kübik yapıda sekizyüzlü boşlukların dörtyüzlü boşluklardan büyük olduğunu gösterir.

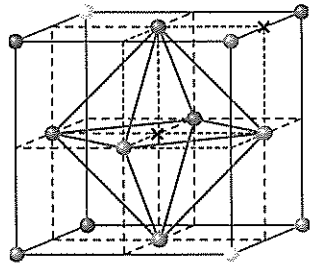
İkili katıların bir diğer düzenlenme biçimi basit kübik örgüdür. Bu basit örgü bir kübik sık düzenlenme biçimi değildir ve sık istiflenmiş kübik örgüye göre daha büyük boşluklar içerir. Basit kübik örgü, birim hücre merkezinde kübik bir boşluk içerir. Bu boşluğun boyutu, $r = 0{,}732\,R$ dir ve burada ele alınan kübik hücrelerde karşılaşılan en büyük boşluktur. Sık istiflenmiş kübik örgüde hangi boşluk katyon tarafından doldurulacaktır? Bir



(a) Üçgen boşluk

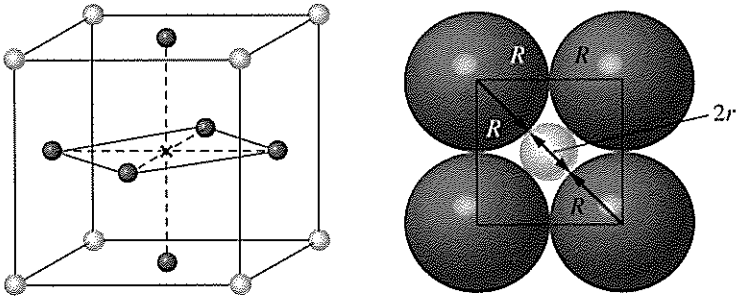


(b) Dörtyüzlü boşluk



(c) Sekizyüzlü boşluk

▲ ŞEKİL 12-46
Yüzey merkezli kübik birim hücrede boşluklar(a) Yüzey merkezli iki küre ile bir köşe küresi arasında üçgen boşluk oluşur. **(b)** Bir dörtyüzlü boşluk, üç yüzey merkezli küre ile bir köşe küresi arasında oluşur. **(c)** Sekizyüzlü boşluk, bu küpteki altı tane yüzey merkezli kürenin hepsi tarafından oluşturulur.



▲ ŞEKİL 12-47
Sekizyüzlü bir boşluğun kesiti

boşluğu dolduran katyon, katyon ve anyon arasındaki çekim kuvvetlerini en yüksek, anyonlar arası itme kuvvetlerini en küçük düzeye getirmelidir. Bu koşul, katyonun gerçek iyon boyutundan birazcık daha küçük boyutta bir boşluğa yerleşmesiyle sağlanabilir. Bu itme, sık istiflenmiş anyonları birbirinden birazcık uzaklaştırarak onların birbirine uyguladığı itmeleri azaltırken; temas halindeki anyon ve katyonların birbirini çekmesi maksimum hale gelir. Bu nedenle dörtyüzlü bir boşluğa girecek katyon, gireceği boşluktan daha büyük, fakat sekizyüzlü boşluktan daha küçük olmalıdır; yani,

$$0{,}225\ R_{\text{anyon}} < r_{\text{katyon}} < 0{,}414\ R_{\text{anyon}}$$

ya da katyon *(r)* anyon *(R) yarıçap oranı* cinsinden

$$0{,}225 < (r_{\text{katyon}}/R_{\text{anyon}}) < 0{,}414$$

Benzer biçimde sekizyüzlü boşluğa girecek katyonun yarıçapı,

$$0{,}414 < (r_{\text{katyon}}/R_{\text{anyon}}) < 0{,}732$$

eşitsizliğini sağlamalıdır. Bu eşitsizliğin üst sınırı, basit kübik örgü boşluğuna karşılık gelmektedir. Katyon 0,732 *R* yarıçapından büyük olduğunda, bu katyonun örgü boşluğuna yerleşebilmesi için anyonların basit kübik yapıda düzenlenmesi beklenir.

Özetlenecek olursa, eğer

$0{,}225 < (r_{\text{katyon}}/R_{\text{anyon}}) < 0{,}414$	koşulu sağlanırsa anyon örgüsünün *ymk* dörtyüzlü boşluğu katyon tarafından işgal edilir.
$0{,}414 < (r_{\text{katyon}}/R_{\text{anyon}}) < 0{,}732$	koşulu sağlanırsa anyon örgüsünün *ymk* sekizyüzlü boşluğu katyon tarafından işgal edilir.
$0{,}732 < (r_{\text{katyon}}/R_{\text{anyon}})$	koşulu sağlanırsa basit kübik anyon örgüsünün kübik boşluğu katyon tarafından işgal edilir.

Bu ölçütlere göre ikili iyonik katıların yapıları akla uygundur. Ancak tüm basitleştirilmiş modellerde olduğu gibi, bu modelin sınırlamalarına da dikkat etmeliyiz. Yukarıdaki ölçütlerin geliştirilmesinde, iyonlar arasında elektriksel çekim dışında etkileşmelerin olmadığı varsayılmıştır. Bu varsayım geçerli değilse ölçütler hatalı olur. Bununla birlikte bu ölçütler işe yaramaktadır.

Bir iyonik kristalin birim hücresi,

- üç boyutlu hareketiyle tüm kristali oluşturmalı,
- bileşiğin formülüyle uyuşmalı ve
- iyonların koordinasyon sayılarını göstermelidir

NaCl ve CsCl ün birim hücreleri Şekil 12-48 ve 12-49 da gösterilmiştir. Bu yapıların bileşiklerin formülleriyle uyuşmasını ve katyonların yerleştikleri boşlukların tiplerini inceleyebiliriz.

NaCl de yarıçap oranı,

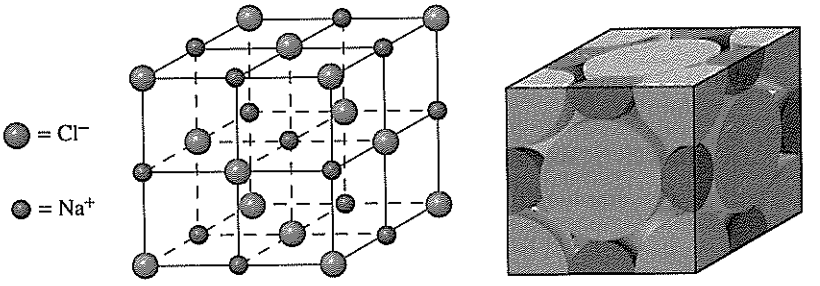
$$\frac{r_{Na^+}}{R_{Cl^-}} = \frac{99\ \text{pm}}{181\ \text{pm}} = 0{,}55$$

Bu orana göre, Na^+ iyonlarının, Cl^- iyonlarının oluşturduğu sık istiflenmiş kübik örgünün sekizyüzlü boşluklarını doldurması beklenir. NaCl birim hücresi Şekil 12-48 de gösterilmiştir. Şekil 12-48 deki 27 iyon komşu birim hücreler arasında şöyle paylaştırılır: Her köşedeki Cl^- iyonu *sekiz* birim hücre tarafından paylaşılır, her yüzey merkezindeki Cl^- iyonu *iki* hücre tarafından paylaşılır. Bu durumda, bir birim hücredeki Cl^- iyonları sayısı $(8 \times \frac{1}{8}) + (6 \times \frac{1}{2}) = 1 + 3 = 4$ tür.

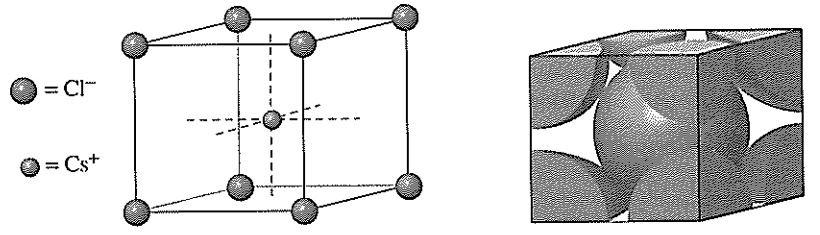
UNUTMAYINIZ

Kürelerin kübik sık istiflenmesi, yüzey merkezli kübik birim hücre oluşturur.

▶ ŞEKİL 12-48
Sodyum klorür birim hücresi
Gerçekte zıt yüklü iyonlar temasta olmasına karşın, burada sadece iyon merkezleri gösterilmiştir. Bu yapıyı, sekizyüzlü ara boşlukları Na^+ iyonları tarafından doldurulmuş, Cl^- iyonlarının *ymk* örgüsü olarak düşünebiliriz.



▶ ŞEKİL 12-49
Sezyum klorür birim hücresi
Cl^- iyonları basit kübik birim hücrenin köşelerinde, Cs^+ iyonu ise bu kübün merkezinde bulunmaktadır. Gerçekte Cl^- iyonları Cs^+ iyonu ile temastadır. Bir diğer seçenek köşelerde Cs^+ iyonlarının, merkezde Cl^- iyonunun yer aldığı yapıdır.



Birim hücre kenarları boyunca 2 Na^+ iyonu vardır ve her kenar dört birim hücre tarafından paylaşılmaktadır. Birim hücrenin en merkezindeki Na^+ iyonu tümüyle bu hücreye aittir. Buna göre bir birim hücredeki Na^+ iyonları toplam sayısı $(12 \times \frac{1}{4})+(1 \times 1) = 3 + 1 = 4$ tür. Bu birim hücre, eşit sayıda yani 4 Na^+ ve 4 Cl^- iyonuna sahiptir. Na^+ ve Cl^- iyonlarının oranı NaCl formülüne uygun biçimde 1:1 dir.

Bir kristalde koordinasyon sayısını belirlemek için, kristaldeki belli bir iyona en yakın zıt yüklü iyonlar sayılır. NaCl de her Na^+ *altı* Cl^- iyonu tarafından sarılmıştır. Hem Na^+, hem de Cl^- iyonunun koordinasyon sayısı *altıdır*. Oysa şekil 12-49 da Cs^+ ve Cl^- ün koordinasyon sayıları *sekizdir*. CsCl yapısının NaCl yapısından farkı, bu bileşiğin iyon yarıçapları oranı yardımıyla anlaşılabilir.

$$\frac{r_{Cs^+}}{R_{Cl^-}} = \frac{169\ \text{pm}}{181\ \text{pm}} = 0{,}934$$

ÖRNEK 12-11 İyon Yarıçaplarıyla İyonik Kristal Birim Hücre Boyutlarının İlişkisi

Na^+ ve Cl^- iyonlarının iyonik yarıçapları, sırasıyla, 95 ve 181 pm dir. NaCl birim hücresinin kenar uzunluğu nedir?

Analiz

Bu sorunun çözümünde kilit nokta, birim hücredeki geometrik ilişkileri anlamaya dayanır. Birim hücrenin kenarlarında iki Cl^- iyonu bir Na^+ iyonu ile temas halindedir (Şekil 12-48). Kenar uzunluğu, bir Cl^- iyonu yarıçapı ile bir Na^+ iyonunun çapı ve diğer bir Cl^- iyonunun yarıçapının toplamına eşittir.

Çözüm

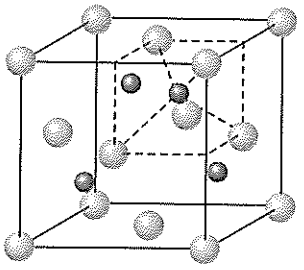
$$\begin{aligned}\text{Kenar uzunluğu} &= (r_{Cl^-}) + (r_{Na^+}) + (r_{Na^+}) + (r_{Cl^-}) \\ &= 2(r_{Na^+}) + 2(r_{Cl^-}) \\ &= (2 \times 99) + (2 \times 181) = 560\ \text{pm}\end{aligned}$$

Değerlendirme

Birim hücrede bu geometrik ilişkileri kurmak için daha önce gördüğümüz gibi, birim hücrenin atomik düzenlemesini anımsamak gerekir.

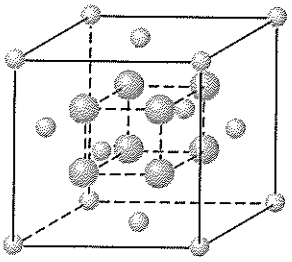
ALIŞTIRMA A: Sezyumun iyonik yarıçapı 167 pm dir. Şekil 12-49 ile Örnek12-9 ve 12-11 deki bilgileri kullanarak CsCl birim hücresinin kenar uzunluğunu belirleyiniz.

ALIŞTIRMA B: NaCl birim hücresi kenar uzunluğu için bulunan bu değeri, NaCl mol kütlesini ve Avogadro sayısını kullanarak NaCl yoğunluğunu bulunuz.



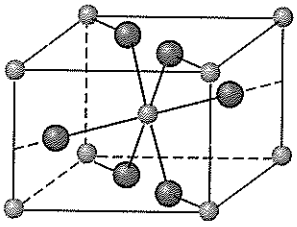
● = S^{2-} ● = Zn^{2+}

(a) Zn'ün birim hücresi (çinko blend yapısı)



● = Ca^{2+} ● = F^-

(b) CaF_2, ün birim hücresi (florit yapısı)



● = Ti^{4+} ● = O^{2-}

(c) TiO_2' in birim hücresi (rutil yapısı)

◀ ŞEKİL 12-50
Karmaşık birim hücreler

Yukarıda verilen yarıçap oranı eşitsizliğinden Cs^+ iyonunun, Cl^- iyonlarının basit kübik örgüsündeki bir kübik boşluğu doldurmasını bekleriz. Merkezinde bir Cs^+ iyonu ve köşelerinde $8 \times (\frac{1}{8})Cl^-$ iyonu bulunduğundan, bu birim hücre 1 : 1 Cs^+, Cl^- oranıyla uyumludur.

$M^{2+}X^{2-}$ tipi iyonik bileşikler (örneğin MgO, BaS, CaO) NaCl tipi kristaller oluşturabilirler. Bununla birlikte, Zn^{2+} örneğinde olduğu gibi, katyon yeterince küçükse dörtyüzlü boşluklara yerleşebilir. Yarıçap oranı ZnS de 0,35 tir ve stokiyometriyi tuturmak için, Şekil 12-50 de *ymk* örgüyü oluşturan dört S^{2-} iyonuna karşı, sekiz tane dörtyüzlü boşluğun ancak Zn^{2+} iyonlarınca yarısı doldurulur. MX_2 ya da M_2X formülüne sahip bileşiklerin kristal yapıları çok karmaşıktır. Katyon ve anyonlar eşit sayıda olmadıklarından, biri katyon ve diğeri anyon için *iki* koordinasyon sayısı vardır.

CaF_2 de (florit yapısı) Ca^{2+} iyonlarının iki katı F^- iyonu vardır. Ca^{2+} için koordinasyon sayısı *sekiz*, F^- için *dörttür*. Bunu görmenin en kolay yolu bir yüzeyin ortasındaki Ca^{2+} iyonuna bakmaktır. Bu birim hücrenin içindeki dört F^- en yakın komşulardır. Ayrıca (yüzey merkezli Ca^{2+} iyonunu paylaşan) komşu birim hücredeki dört F^- iyonu da en yakın komşulardır. Bu, Ca^{2+} için sekiz koordinasyon sayısını verir. Bu F^- iyonlarının her biri bir köşe Ca^{2+} iyonuna ve en yakın komşu olarak üç yüzey merkezindeki Ca^{2+} iyonuna sahiptir ve bunlar F^- için koordinasyon sayısı olarak dördü verir. TiO_2 te (rutil yapısı) Ti^{4+} *altı* ve O^{2-} *üç* koordinasyon sayısına sahiptir. Bu yapıda O^{2-} iyonlarından ikisi hücrenin içinde, ikisi üst yüzeyde ve diğer ikisi alt yüzeydedir. Ti^{4+} iyonları bu hücrenin merkezinde ve köşelerindedir.

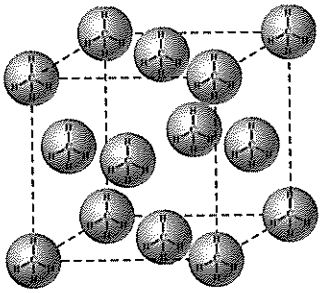
12-9 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Fulleren, C_{60} yüzey merkezli kübik yapıda kristallenir. Eğer dörtyüzlü ve sekizyüzlü boşluklara potasyum atomları yerleşirse oluşan bileşiğin formülü ne olur?

ÇİZELGE 12.7 Kristal Katıların Özellikleri

Katı Tipi	Yapı Tanecikleri	En Güçlü Katkıda Bulunan Kuvvetler[a]	Tipik Özellikler	Örnekler
Metalik	Katyonlar ve delokalize elektronlar	Metallik bağlar	Sertlik çok değişken; erime noktaları çok değişken, dövülebilir; çekilebilir; parlaktır, ısı ve elektriği iletir.	Na, Mg, Al, Fe, Sn, Cu, Ag, W
İyonik	Katyon ve anyonlar	Elektrostatik çekimler	Sert; orta ve çok yüksek erime noktaları; elektriksel yalıtkan (sıvı halde iyi iletir), çoğu su gibi polar çözücülerde çözünürler	NaCl, MgO, $NaNO_3$
Ağörgülü kovalent	Atomlar	Kovalent bağlar	Çoğu çok sert; çok yüksek sıcaklıklarda erir ya da süblimleşirler, çoğu yalıtkan	C(elmas), C(grafit), SIC, AlN, SiO_2
Moleküler *Apolar*	Atomlar ya da apolar moleküller	Dağılma kuvvetleri	Yumuşak; düşük, orta erime noktası (mol kütlesine bağlı); bazı durumlarda süblimleşme; bazı apolar çözücülerde çözünürler	He, Ar, H_2, CO_2, CCl_4, CH_4, I_2
Polar	Polar moleküller	Dağılma kuvvetleri ve dipol–dipol etkileşimleri	Düşük, orta erime noktası; bazı polar ve bazı apolar çözücülerde çözünürler	$(CH_3)_2O$, $CHCl_3$, HCl
Hidrojen Bağlı	N, O ya da F atomuna bağlı H	Hidrojen bağları	Düşük-orta erime noktası; bazı hidrojen bağlı çözücülerde ve bazı polar çözücülerde çözünürler	H_2O, NH_3

[a]Genellikle birden fazla kuvvet katkıda bulunur. Yukarıda katkıda bulunan bütün kuvvetlerden en güçlüsü listelenmiştir.



▲ Metanın birim hücresi Metanın birim hücresi, CH_4 moleküllerinin bir yüzey merkezli kübik düzenlenmesidir. Burada metan moleküllerini içeren küreler, *ymk* düzenlenmesini göstermek içindir.

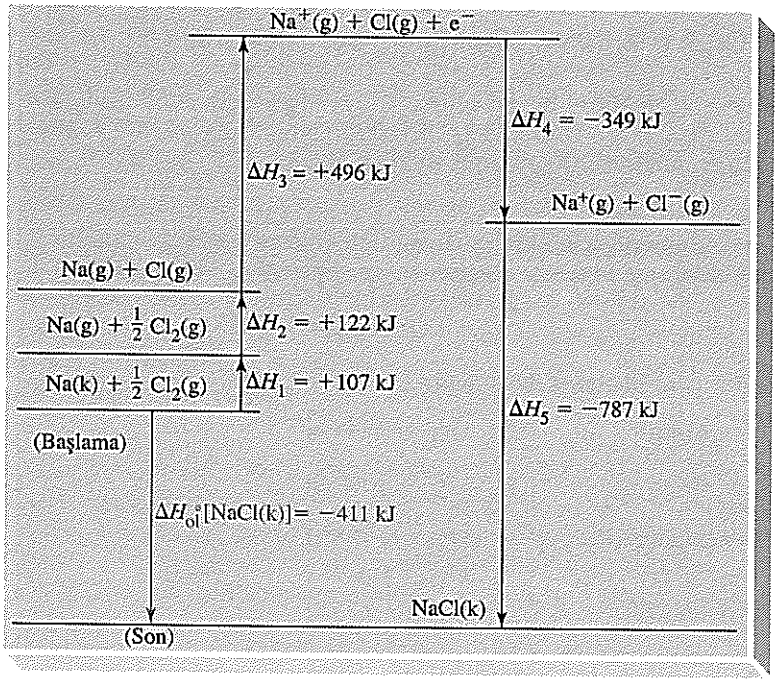
Kristal Katı Tipleri: Özet

Bu kesimde metal atomları ve iyonlarından oluşan kristaller ele alınmıştır. Fakat kristal katıların yapısal tanecikleri atom, iyon ya da moleküller olabilir. Yapısal birimi molekül olan kristal katıları temsilen, katı metanı, CH_4 ele alalım. Kristal yapı *ymk* tir. Bu, birim hücrenin her köşesi ve her yüzey merkezinde bir CH_4 molekülü bulunduğu anlamına gelmektedir. Her CH_4 molekülü 228 pm yarıçaplı bir kürenin hacmine eşit hacım kaplar. *ymk* örgülü maddeler çok değildir. Çok karmaşık moleküller daha az simetrik birim hücrelere sahiptir.

Kristalin yapı birimleri arasında etkili olan moleküller arası kuvvetler metalik bağlar, iyonlar arası çekimler, van der Waals kuvvetleri ya da kovalent bağlar olabilir. Çizelge 12.7, temel kristal katı tiplerini, bunlar içindeki moleküller arası kuvvetleri, bazı karekteristik özellikleri ve örnekleri vermektedir.

12-7 İyonik Kristallerin Oluşumunda Enerji Değişimleri

Kesim 12-5 de nitel olarak gördüğümüz örgü enerjisi kavramı, nicel terimlerle ifade edildiğinde daha fazla anlam kazanır. Ancak, örgü enerjisini doğrudan hesaplamak güçtür. Bu güçlük, zıt yüklü iyonların birbirini çekmesi ve benzer yüklü iyonların birbirini itmesi etkileşimlerinin aynı anda ele alınması zorunluluğundan doğar. Örgü enerjisi, ilk uygulayıcıları olan Max Born, Kasimir Fajans ve Fritz Haber'den sonra Born-Fajans-Haber Çevrimi diye adlandırılan Hess yasasının uygulanmasıyla *dolaylı* olarak belirlenir. Yöntemin zorluğu, gaz halindeki iyonlardan kristal örgüsünün



◀ ŞEKİL 12-51
İyonik kristal oluşumunun entalpi diyagramı
Burada standart haldeki elementlerinden bir mol NaCl(k) oluşumu için beş aşamalı bir süreç gösterilmiştir. Bu beş entalpi değişiminin toplamı ΔH°_{ol} [NaCl(k)] verir. Na(k) ve Cl_2 (g) dan doğrudan tek basamakta NaCl(k) oluşumu renkli olarak gösterilmiştir. (Dikey oklar ölçeksiz olarak ΔH değerlerini göstermektedir.)

oluşması basamağı dışında, entalpi değişimi diye bilinen bütün basamakları düzenleme zorluğundan ileri gelir.

Şekil 12-51, NaCl oluşumu için beş basamaklı yöntemin uygulanışını göstermektedir.

1. **Basamak.** Bir mol katı Na'un süblimleşmesi.
2. **Basamak.** 0,5 mol Cl_2(g) gazının bir mol Cl(g) atomuna ayrışması.
3. **Basamak.** Na(g) un iyonlaşarak Na^+(g) oluşturması.
4. **Basamak.** Cl(g) un iyonlaşarak Cl^-(g) oluşturulması.
5. **Basamak.** Na^+(g) ve Cl^-(g) iyonlarından bir mol NaCl(k) oluşması.

◀ NaCl'nin örgü enerjisi MgO'nun örgü enerjisinin $\frac{1}{4}$'ü kadardır. Çünkü iyonlar arasındaki çekim kuvvetleri iyonların yükleri ile orantılıdır. NaCl'de (+1) (−1) ve MgO'de (+2) (−2).

Bu beş basamaktaki toplam değişim, standart hallerdeki elementlerden NaCl(k) oluşumu tepkimesi ile aynıdır. Yani $\Delta H_{net} = \Delta H^\circ_{ol}$. Ek D de ΔH°_{ol} [NaCl(k)]=−411 kJ mol^{-1} olduğu görülür, buna göre aşağıdaki çevrimde tek bilinmeyen NaCl örgü enerjisidir.

1. $Na(k) \longrightarrow Na(g)$ $\quad \Delta H_1 = \Delta H_{\text{süblimleşme}} = +107$ kJ
2. $\frac{1}{2} Cl_2(g) \longrightarrow Cl(g)$ $\quad \Delta H_2 = \frac{1}{2}$Cl—Cl bağ enerjisi $= +122$ kJ
3. $Na(g) \longrightarrow Na^+(g) + e^-$ $\quad \Delta H_3 =$ 1. iyonlaşma enerjisi $= +496$ kJ
4. $Cl(g) + e^- \longrightarrow Cl^-(g)$ $\quad \Delta H_4 =$ Cl un elektron ilgisi $= -349$ kJ
5. $Na^+(g) + Cl^-(g) \longrightarrow NaCl(k)$ $\quad \Delta H_5 =$ NaCl ün kristal örgü enerjisi $= ?$

net: $$Na(k) + \frac{1}{2} Cl_2(g) \longrightarrow NaCl(k)$$

$$\Delta H_{net} = -411 \text{ kJ} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$$
$$-411 \text{ kJ} = 107 \text{ kJ} + 122 \text{ kJ} + 496 \text{ kJ} - 349 \text{ kJ} + \Delta H_5$$
$$\Delta H_5 = \text{örgü enerjisi} = (-411 - 107 - 122 - 496 + 349) \text{ kJ} = -787 \text{ kJ}$$

◀ Örgü enerjisi, örgüyü bozmak için gerekli enerji diye de tanımlanır. Bu durumda, bütün örgü enerjileri pozitiftir ve ΔH_5 = −(örgü enerjisi) şeklindedir.

Örgü enerjisi kavramı, iyonik bileşiklerin sentezlenmesi olanağının kestirilmesinde kullanılır. Örnek 12-12 de oluşum entalpisi değerlendirilerek MgCl(k) bileşiğinin elde edilme olasılığı kestirilmektedir.

ÖRNEK 12-12 Oluşum Entalpisi, Örgü Enerjisi ve Diğer Enerji Büyüklüklerinin İlişkisi

Aşağıdaki verilerle bir mol MgCl(k) için ΔH°_{ol} değerini hesaplayınız. 1 mol Mg(k) için süblimleşme entalpisi: +146 kJ; $\frac{1}{2}$ mol Cl_2(g) için ayrışma entalpisi : +122 kJ; Mg(g) un birinci iyonlaşma enerjisi: +738 kJ; 1 mol Cl(g) un elektron ilgisi: –349 kJ; bir mol MgCl(k) ün örgü enerjisi: –676 kJ.

Analiz

Bu probleme bir iyonik katının, MgCl(k) oluşumu için entalpi diyagramı çizerek başlayacağız. Bu diyagramdan örgü enerjisinin (ΔH_5) bilindiğini ve MgCl(k) oluşum entapisinin (ΔH_{net}) bilinmediğini buluruz.

Çözüm

Aşağıdaki çeşitli tepkimeler bu örneğin bir parçası olarak verilmiştir.

$$Mg(k) \longrightarrow Mg(g) \qquad \Delta H_1 = +146 \text{ kJ}$$

$$\frac{1}{2}Cl_2(g) \longrightarrow Cl(g) \qquad \Delta H_2 = +122 \text{ kJ}$$

$$Mg(g) \longrightarrow Mg^+(g) + e^- \qquad \Delta H_3 = +738 \text{ kJ}$$

$$Cl(g) + e^- \longrightarrow Cl^-(g) \qquad \Delta H_4 = -349 \text{ kJ}$$

$$Mg^+(g) + Cl^-(g) \longrightarrow MgCl(k) \qquad \Delta H_5 = -676 \text{ kJ}$$

$$net: \; Mg(k) + \frac{1}{2}Cl_2(g) \longrightarrow MgCl(k)$$

$$\Delta H_{net} = \Delta H^\circ_{ol}[MgCl(k)] = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$$
$$= 146 \text{ kJ} + 122 \text{ kJ} + 738 \text{ kJ} - 349 \text{ kJ} - 676 \text{ kJ} = -19 \text{ kJ}$$

Değerlendirme

Bu tür problemler Hess yasasının bir başka biçimidir. Entalpi diyagramı da denklem düzenini sağlamanın bir yoludur.

ALIŞTIRMA A: Sezyumun süblimleşme enerjisi 78,2 kJ mol^{-1} ve ΔH°_{ol} [CsCl(k)] = – 442,8 kj mol^{-1} dür. Bu değerleri kitaptaki diğer değerlerle birlikte kullanarak CsCl(k) ün kristal örgü enerjisini hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: Örnek 12-12 deki verilerle birlikte aşağıdaki verileri kullanarak $CaCl_2$(k) ün ΔH°_{ol} değerini hesaplayınız. Ca(k) un süblimleşme entalpisi, +178,2 kJ mol^{-1}; Ca(g) un birinci iyonlaşma enerjisi, +590 kJ mol^{-1}; ikinci iyonlaşma enerjisi +1145 kJ mol^{-1}; $CaCl_2$(k) ün kristal örgü enerjisi, –2223 kJ mol^{-1}.

Örnek 12-12 MgCl(k) ün kararlı bir bileşik olarak elde edilebileceğini göstermektedir. Çünkü birazcık da olsa negatif oluşum enerjisine sahiptir. O halde neden biz her zaman MgCl yerine $MgCl_2$ yazarız? MgCl 1:1 Mg:Cl oranına ve $MgCl_2$ 1:2 Mg:Cl oranına sahip olduğu için, eğer Mg(k) sınırlı miktarda Cl_2(g) ile tepkimeye girerse MgCl oluşacağını düşünebilirsiniz. Oysa, durum böyle değildir. Sınırlı miktarda Cl_2(g) kullanılması önemli değildir, oluşacak tek bileşik $MgCl_2$ dür. Bunu anlamak için Örnek 12-12 deki hesabı $MgCl_2$(k) oluşumu için tekrarlarsanız, $MgCl_2$(k) oluşum entalpisinin MgCl(k) kinden çok daha negatif olduğunu göreceksiniz (bakınız Alıştırma 87). Mg^{2+} oluşturmak için gereken enerji Mg^+ oluşturmak için gerekenden büyük olmasına rağmen, $MgCl_2$(k) örgü enerjisi MgCl(k) örgü enerjisinden çok çok büyüktür. Bunun nedeni *çift* yüklü Mg^{2+} iyonlarının Cl^- üzerine *tek* yüklü Mg^+ iyonlarına göre daha çok kuvvet uygulamasıdır. Mg ve Cl atomları arasındaki tepkime MgCl aşamasında durmaz, çok daha kararlı olan $MgCl_2$ oluşumuna dek sürer.

$NaCl_2$ kararlı bir bileşik midir? Burada yanıt hayır. Çünkü, NaCl üzerine $NaCl_2$ oluşması için ek örgü enerjisi, sodyumun çok yüksek olan ikinci iyonlaşma enerjisini karşılamaya yetmez (Alıştırma 114 e bakınız).

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

LCD kısaltması sıvı kristal ekran için kullanılır. Bir sıvı için kristal denilmesi bu bölümde anlatılanlarla çelişkiliymiş gibi görünüyor. Sıvı kristal olarak adlandırılan materyallerin özellikleri ve kullanım alanları için bakınız: Focus on feature for Chapter 12, Liquid Crystals, on the MasteringChemistry site.

Özet

12-1 Moleküller Arası Kuvvetler—Moleküller arası kuvvetler, moleküller arasında oluşan, toplu olarak **van der Waals kuvvetleri** olarak bilinen kuvvetlerdir. En yaygın moleküller arası çekim kuvvetleri anlık ve indüklenmiş dipol (**dağılma** ya da **London**) kuvvetleridir. Dağılma kuvvetlerinin büyüklüğü, elektron yük dağılımının geçici olarak molekül içinde ne kadar kolay yer değiştirdiğine, yani molekülün polarlanabilirliğine veya **kutuplanabilirliğine** bağlıdır. Polar maddelerde dipol-dipol kuvvetleri de vardır. Bazı hidrojen içeren maddeler de, moleküldeki yüksek elekronegatifliklere sahip atomlara (—N, O ya da —F) bağlı hidrojen atomları, aynı ya da farklı moleküldeki yüksek elekronegatifliklere sahip atomları çekerek, **hidrojen bağı** denilen önemli moleküller arası çekimler sergilerler. Hidrojen bağları kaynama noktası (Şekil 12-5) gibi fiziksel özellikler üzerinde oldukça etkindir ve canlılarda hayati öneme sahip moleküller arası kuvvetlerdir.

12-2 Sıvıların Bazı Özellikleri—Bir sıvının yüzeyini genişletmek için gerekli olan enerji **yüzey gerilimi** ve sıvının akmaya karşı direncini belirten **viskozite** moleküller arası kuvvetlerle ilişkili özelliklerdir. Damla biçimi, yüzey sınırı oluşumu ve kılcal etki gibi bildik olgular yüzey gerilimine bağlıdır. Bunlar, özellikle **kohezyon kuvvetleri** (bir sıvıda benzer moleküller arası kuvvetler) ve **adezyon kuvvetleri** (sıvı molekülleriyle yüzey molekülleri arasındaki kuvvetler) arasındaki dengeden etkilenirler. **Buhar basıncı**, sıvı ile dengede bulunan buharın gösterdiği basınçtır. Buhar basıncı sıvının uçuculuğunun bir ölçüsüdür ve moleküller arası kuvvetlerin şiddetine bağlıdır. Sıvının buhara dönüşmesine **buharlaşma** denir; buharlaşmanın tersi ise **yoğunluşmadır**. Buhar basıncının sıcaklığa bağlılığı, **buhar basıncı eğrisi** ile gösterilir (Şekil 12-18) ve Clausius-Clapeyron denklemiyle (Denklem 12.2) ifade edilir. Bir sıvının yüzeyinden uzaklaşan moleküllerin basıncı atmosfer basıncına eşit olduğunda **kaynama** olur. Bir sıvının buhar basıncının 1 atm'e eşit olduğu sıcaklık **normal kaynama noktasıdır**. Sıvı ve buhar farkının ayırt edilemediği sıcaklık ve basınç koşullarına **kritik nokta** denir (Şekil 12-22).

12-3 Katıların Bazı Özellikleri—Kristal katılar, katının sıvıya dönüştüğü sıcaklığa ısıtıldıklarında **erime** olur. Bu sıcaklığa **erime noktası** denir. Bir sıvı soğutulduğunda, **donma** sonucu kristal madde oluşur ve bu olayın gerçekleştiği sıcaklığa **donma noktası** denir. Bazı koşullarda katının doğrudan buhara dönüşmesine **süblimleşme** denir. Süblimleşmenin tersi ise **kırağılaşmadır**. Katının bu özelliklerinden süblimleşme (buhar) basıncı ve erime noktası moleküller arası kuvvetler tarafından etkilenir.

12-4 Faz Diyagramları—**Bir faz diyagramı** katı, sıvı ve gazların (buhar) tek veya birbiriyle dengede iki ya da daha çok fazlar halinde bulunduğu koşulların grafiksel gösterimidir (Şekil 12-24'den 12-28'e kadar). Faz diyagramları üzerindeki önemli noktalar şunlardır: **üçlü nokta** (üç fazın bir arada bulunduğu), erime noktası, kayanama noktası, kritik nokta ve ötesinde süper kritik akışkanın mümkün olduğu nokta. Bazı maddeler katı halde farklı formlarda bulunabilirler; bu davranışa **polimorfizm** denir (Şekil 12-28).

12-5 Ağörgülü Kovalent Katılar ve İyonik Katılar—**Ağörgülü kovalent katılarda** kimyasal bağlar tüm kristal yapı boyunca yayılır. Bu maddelerde kimyasal bağlar bizzat moleküller arası kuvvetlerdir. **Örgü enerjisi**, bir mol iyonik katının, ayrı ayrı gaz halindeki iyonlardan meydana gelmesi sırasında açığa çıkan enerjidir.

12-6 Kristal Yapılar—Bazı kristal yapılar kürelerin istiflenmesi biçiminde ifade edilebilir. Bu kürelerin istiflenme biçimlerine bağlı olarak, farklı **birim hücreler** elde edilir (Şekil 12-37). Kürelerin **heksagonal sıkı istiflenmesinden** (**hsi**) heksagonal birim hücre; kübik sıkı istiflenmesinden **yüzey merkezli kübik** (**ymk**) birim hücre elde edilir (Şekil 12-38 ve 12-39). Bazı durumlarda kürelerin *hsi* ve *ymk* gibi sıkı olmayan istiflenmesiyle **iç merkezli kübik** (*imk*) birim hücreler ortaya çıkar (Şekil 12-38). Bu birim hücrelerin boyutları X-ışını kırınımıyla belirlenebilir. Bu boyutlar atom yarıçapları ve yoğunlukların hesaplanmasında kullanılabilir. İyonik kristallerde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husus, tüm iyonların aynı boyutta olmaması ve aynı yüklere sahip olmamalarıdır. İyonik kristaller genellikle, anyon örgüsünün boşluklarına katyonların yerleştiği bir anyonlar düzeneği olarak görünebilir.

12-7 İyonik Kristallerin Oluşumunda Enerji Değişimleri—Kristallerin örgü enerjileri Born-Fajans-Haber çevrimi (Şekil 12-51), yoluyla bazı atomik ve termodinamik özelliklerden hesaplanabilir.

Pekiştirici Örnek

25 °C'de $N_2H_4(g)$ ve $N_2H_4(s)$ denge karışımına sahip bir kap, buzlu–su banyosu sıcaklığına kadar soğutulduğunda, $N_2H_4(g)$'nın kısmi basıncını, aşağıdaki çizelgede verilen hidrazinin (N_2H_4) fiziksel özelliklerine ait değerleri kullanarak hesaplayınız.

Özellik	Değer
Donma noktası	2,0 °C
Kaynama noktası	113,5°C
Kritik sıcaklık	380 °C
Kritik basınç	145,4 atm
Erime entalpisi	12,66 kJ mol^{-1}
Sıvının ısı kapasitesi	98,84 J mol^{-1} $°C^{-1}$
25,0 °C da sıvının yoğunluğu	1,0036 g mL^{-1}
25,0 °C da buhar basıncı	14,4 Torr

Analiz

Hidrazin donma noktası olan 2,0 °C nin altında, katı ve buharı ile denge halinde bulunacaktır. Buzlu–su banyosunun sıcaklığı 0 °C olacaktır. Biz buzun erime noktası olan 0°C de $N_2H_4(k)$ ün sümlimleşme basıncını araştırıyoruz. Donma noktası olan 2,0 °C de hidrazinin sıvı, katı ve buhar fazları dengededir. Öyleyse, hidrazinin bu sıcaklıkta buhar basıncını hesaplamalıyız. 0 °C daki buhar (süblimleşme) basıncını bulmak için Clausius-Clapeyron denklemini (12.2) kullanabiliriz. Yapılacak ilk iş, Clausius-Clapeyron denklemini üç kere kullanarak problem için gerekli verileri adım adım belirlemektir.

Çözüm

ΔH_{buh} değerini bulmak için, 25°C deki buhar basıncını, T_1 ve P_1 değerlerini, normal kaynama noktası için T_2 ve P_2 değerlerini seçiniz ve (12.2) denkleminde yerine koyunuz.

$$\ln\frac{P_2}{P_1} = -\frac{\Delta H_{buh}}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

$$\ln\frac{760\text{ Torr}}{14,4\text{ Torr}} = -\frac{\Delta H_{buh}}{8,3145\text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}} \times \left(\frac{1}{386,7\text{ K}} - \frac{1}{298,2\text{ K}}\right) = 3,967$$

$$\Delta H_{buh} = -\frac{8,3145\text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 3,967}{(0,002586 - 0,003353)\text{ K}^{-1}} = 4,30 \times 10^4\text{ J mol}^{-1}$$

Hesaplanan ΔH_{buh} değerini alarak tekrar Clausius-Clapeyron denklemine (12.2) dönünüz. Birinci hesaplamadaki T_1 ve P_1 verilerini ve T_2 için T_2= 2,0 + 273,15= 275,2 K verisini kullanarak bilinmeyen P_2 yi hesaplayınız.

$$\ln\frac{P_2}{14,4} = -\frac{4,30 \times 10^4\text{ J mol}^{-1}}{8,3145\text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}} \times \left(\frac{1}{275,2\text{ K}} - \frac{1}{298,2\text{ K}}\right)$$

$$= -5,17 \times 10^3 \times (2,80 \times 10^{-4}) = -1,45$$

$$P_2/14,4 = e^{-1,45} = 0,235$$

$$P_2 = 0,235 \times 14,4 = 3,38\text{ Torr}$$

Şimdi hidrazinin üçlü nokta verilerine sahibiz. Üçlü nokta sıcaklığı 2,0 °C (275,2 K) ve üçlü nokta basıncı 3,38 Torr dur. (12.2) denkleminin son uygulamasında bu T_2 ve P_2 verilerini kullanınız. T_1 sıcaklığı 0 °C (273,2 K) ve bilinmeyen süblimleşme basıncı P_1dir. Bu son hesaplamada kullanılacak entalpi değişimi sümlimleşme entalpisi olmalıdır, bu

$$\Delta H_{süb} = \Delta H_{eri} + \Delta H_{buh}$$

$$= \left(12,66\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times \frac{1000\text{ J}}{1\text{ kJ}}\right) + 4,30 \times 10^4\text{ J mol}^{-1} = 5,57 \times 10^4\text{ J mol}^{-1}$$

Son olarak bu verileri (12.2) denkleminde yerine koyarak 0°C de hidrazinin süblimleşme basıncını, P_1 hesaplayınız.

$$\ln\frac{3{,}38\ \text{Torr}}{P_1} = -\frac{5{,}57\times10^4\ \text{J mol}^{-1}}{8{,}3145\ \text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}} \times \left(\frac{1}{275{,}2} - \frac{1}{273{,}2}\right)\text{K}^{-1}$$

$$\ln\frac{3{,}38\ \text{Torr}}{P_1} = -6{,}70\times10^3 \times (-2{,}66\times10^{-5}) = 0{,}178$$

$$\frac{3{,}38\ \text{Torr}}{P_1} = e^{0{,}178} = 1{,}19$$

$$P_1 = \frac{3{,}38\ \text{Torr}}{1{,}19} = 2{,}84\ \text{Torr}$$

Değerlendirme

Görüldüğü gibi, hesaplanan üçlü nokta buhar basıncı (3,38 Torr), 25 °C deki buhar basıncından (14,4 Torr) küçüktür. 0 °C deki süblimleşme basıncı (2,84 Torr) daha da küçüktür. Bu sonuçlar, gerçekten de beklendiği gibidir. Denklem (12.2) de kullanılan üç durumdan birincisinde, T_2 ile T_1 arasında 89 °C gibi büyük bir fark olduğundan, olabilecek hatanın çoğu buradan gelir. Oysa diğer ikisinde, 23 °C ve 2 °C fark vardır. Çoğu kez gözardı etsek de hem ΔH_{buh} hem de $\Delta H_{süb}$ sıcaklığa önemli derecede bağlıdır.

ALIŞTIRMA A: Benzinin yüksek oktanlı bir bileşeni olan izooktan'ın normal kaynama noktası 99,2 °C ve ΔH_{buh} değeri 35,76 kJ mol^{-1} dir. İzooktan ve su neredeyse aynı kaynama noktalarına sahip olduklarına göre, buhar basınçları oda sıcaklığında yaklaşık eşit midir? Eğer değilse, hangisinin daha uçucu olmasını beklersiniz? Açıklayınız.

ALIŞTIRMA B: Oksijenin ikinci elektron ilgisini doğrudan ölçemeyiz:

$$O^-(g) + e^- \longrightarrow O_2^-(g) \quad E\dot{I}_2 = ?$$

O_2^- iyonu katı halde bulunabilir, ancak oluşumu için gerekli olan yüksek enerji, iyonik oksitlerin örgü enerjileri tarafından karşılanır.

(a) $E\dot{I}_2$ değerini MgO(k) in oluşum entalpisi ve örgü enerjisinden, Mg(k) un süblimleşme entalpisinden, Mg un iyonlaşma enerjisinden, O_2 nin bağ enerjisi ve O(g) için $E\dot{I}_1$ değerlerinden hesaplanabileceğini gösteriniz.

(b) MgO nun örgü enerjisi -3925 kJ mol^{-1} dir. Bu değerden ve kitaptaki diğer verilerden yararlanarak, O_2 nin $E\dot{I}_2$ değerini bulunuz.

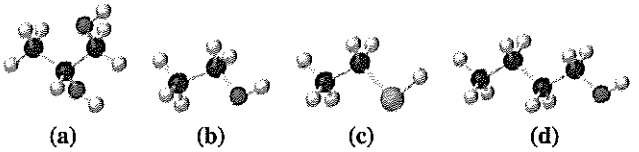
MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, bu konu ile ilgili ilave çalışma sorularına ulaşabilirsiniz

Alıştırmalar

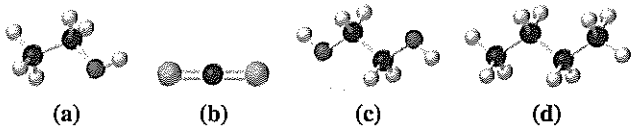
Moleküller Arası Kuvvetler

1. Aşağıdaki maddelerin her biri için dağılma (London) kuvvetleri, dipol-dipol etkileşimleri ve hidrojen bağının önem derecesini açıklayınız: **(a)** HCl; **(b)** Br_2; **(c)** ICl; **(d)** HF; **(e)** CH_4.
2. Benzende, C_6H_6, H atomlarından birinin yerine başka bir atom ya da grup geçerse, kaynama noktası değişir. Aşağıdaki kaynama noktaları değişimini açıklayınız: C_6H_6, 80 °C; C_6H_5Cl, 132 °C; C_6H_5Br, 156 °C; C_6H_5OH, 182 °C.
3. Aşağıda molekül modelleriyle gösterilen sıvıları, 25 °C de, viskozitelerindeki beklenen artışa göre sıralayınız.



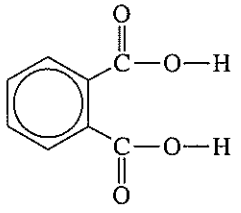
(a) (b) (c) (d)

4. Aşağıda molekül modelleriyle gösterilen sıvıları, beklenen normal kaynama noktalarının artışına göre sıralayınız.



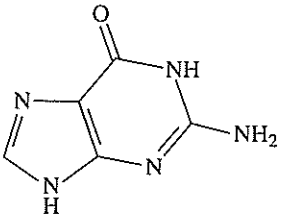
(a) (b) (c) (d)

5. Aşağıdaki maddelerden biri oda sıcaklığında sıvı, diğerleri gaz halindedir. Sizce hangisi sıvıdır, neden? Açıklayınız. CH_3OH; C_3H_8; N_2; N_2O
6. Aşağıdaki maddelerin hangisinde molekül içi hidrojen bağının önemli bir etken olacağını düşünürsünüz: **(a)** $CH_3CH_2CH_2CH_3$; **(b)** $HOOCCH_2CH_2CH_2CH_2COOH$; **(c)** CH_3COOH; **(d)** *orto*-ftalik asit? Açıklayınız.

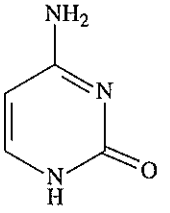


orto-Ftalik asit

7. Kaç su molekülü metanole hidrojen bağı yapabilir?
8. İki asetik asit molekülü arasında en çok kaç hidrojen bağı oluşabilir?
9. DNA da nükleik asit bazları, aralarında ikili sarmal oluşumundan sorumlu olan hidrojen bağlarını oluştururlar. Guanin ve sitozin bazlarını en çok sayıda hidrojen bağı oluşturacak biçimde düzenleyiniz.



Guanin



Sitozin

10. Su molekülleri küçük kararlı kümeler oluştururlar. Altı su molekülü kullanarak ve her bir su molekülünün en çok hidrojen bağı yapmasını gözeterek olası bir su kümesi çiziniz.

Yüzey Gerilimi ve Viskozite

11. $H_3C[SiO(CH_3)_2]_nSiCH_3$ gibi silikon yağları çadır ve yürüyüş ayakkabıları gibi malzemeleri su geçirmez hale getirmekte kullanılan susavar bir maddedir. Bunun nasıl gerçekleştiğini açıklayınız.
12. Yüzey gerilimi, viskozite ve buhar basıncı moleküller arası kuvvetlere dayanır. Neden yüzey gerilimi ve viskozite sıcaklık arttıkça azalırken, buhar basıncı artar?
13. "Ocak ayındaki melastan daha yavaş" deyiminin bilimsel bir temeli var mıdır? Açıklayınız.
14. Bir televizyon reklamında, bir ürünün suyu daha "ıslatıcı" yaptığı iddia edilmektedir. Bu iddianın bir dayanağı var mıdır? Açıklayınız.
15. Aşağıdaki maddeleri (oda sıcaklığında) artan yüzey gerilimlerine göre sıralayınız. **(a)** CH_3OH; **(b)** CCl_4, **(c)** $CH_3CH_2OCH_2CH_3$
16. *t*-Bütil alkolün, $(CH_3)_3COH$ yüzey geriliminin *n*-bütil alkolünkinden, $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$, büyük mü yoksa küçük mü olmasını beklersiniz? Açıklayınız.
17. Bütanol ve pentan yaklaşık aynı kütleye sahip olmasına karşın, bütanolün viskozitesi (20 °C de) η= 2,948 cP ve pentanın viskozitesi η = 0,240 cP'dir. Bu farkı açıklayınız.
18. 20 °C de karbon tetraklorür (CCl_4) ve cıva benzer viskozitelere sahiptir. Neden?

Buharlaşma

19. Bir sıvı açık bir kaptan buharlaştığında, sıcaklığının yaklaşık olarak sabit kaldığı gözlenir. Aynı sıvı, ısıl olarak yalıtılmış bir kaptan (vakum şişesi ya da Dewar kabı) buharlaştırıldığında sıcaklığının düştüğü gözlenir. Bu farkı nasıl açıklarsınız?
20. Kaynama noktasına ulaşılıncaya dek buharlaşma niçin yalnızca yüzeyde olur? Yani neden bütün sıcaklıklarda sıvı kitlesinin her yerinde buhar oluşmaz? Açıklayınız.
21. Benzenin $C_6H_6(s)$, buharlaşma entalpisi, ΔH_{buh}, 298 K de 33,9 kJ mol^{-1} dir. 298 K sabit sıcaklıkta $C_6H_6(s)$ tarafından 1,54 kJ ısı soğurulduğunda oluşan benzen buharının 298 K ve 95,1 mmHg basınçta hacmi kaç litredir?
22. Sıvı asetonitril, CH_3CN, normal kaynama noktasında (81,6 °C ve 1 atm) 1,00 kJ ısı soğurduğunda 1,17 L hacminde buhar oluşmaktadır. CH_3CN in molar buharlaşma entalpisi, ΔH_{buh}, kaç kJ mol^{-1} dir?
23. 25 °C de 25,00 mL sıvı hidrazini, normal kaynama noktasında hidrazin buharına çevirmek için ne kadar ısı gerekir? (sayfa 546 daki Bütünleyici Örnekteki verileri kullanınız.)
24. 215 g $CH_3OH(s)$ sıvı metanolün sıcaklığını 20,0 °C den 30,0 °C ye çıkarmak, sonra da 30,0 °C de buharlaştırmak için ne kadar ısı gerekir? Çizelge 12-3 deki verileri kullanınız. $CH_3OH(s)$ için molar ısı kapasitesi 81,1 $Jmol^{-1}K^{-1}$ dir.
25. Metanın, CH_4, yanma ısısı $\Delta H_{yanma} = -8{,}90 \times 10^2$ kJ mol^{-1} dir. 100 °C deki 3,78 L sıvı suyu 100 °C de buharlaştırmak için, 23,4 °C ve 768 mmHg basınçta kaç L metan yanmalıdır? 100 °C de $H_2O(s)$ nın yoğunluğu d= 0,958 g cm^{-3} ve ΔH_{buh} = 40,7 kJ mol^{-1}.
26. 89°C de açık ve ısıya karşı yalıtılmış bir kaptaki 20 g sıvı suyun içine 152°C deki 50,0 g lık demir parçası atılmaktadır. Hiç su sıçramadığını varsayarak ne kadar suyun buharlaşmasını beklersiniz ? Demir ve suyun özgül ısıları sırayla 0,45 ve 4,21 J g^{-1} °C^{-1} ve su için ΔH_{buh} = 40,7 kJ mol^{-1} dir.

Buhar Basıncı ve Kaynama Noktası

27. Şekil 12-18 den yararlanarak (a) 100 °C de C_6H_7N nin buhar basıncını, (b) C_7H_8'in normal kaynama noktasını hesaplayınız.
28. Şekil 12-20 deki verileri kullanarak (a) anilinin normal kaynama noktasını, (b) dietil eterin 25 °C de buhar basıncını hesaplayınız.
29. 25 °C da $Br_2(s)$ ile $Br_2(g)$ arasında denge kurulur. 250,0 mL buhar örneği 0,486 g' dır. 25 °C da bromun buhar basıncı kaç mmHg'dır?
30. 32 °C de sıvı aseton, $(CH_3)_2CO$, ile dengede bulunan aseton buharının yoğunluğu 0,876 g L^{-1}dir. Bu sıcaklıkta asetonun buhar basıncı kaç kilopaskaldır?
31. Yemek pişirirken sıcaklığın özenli bir kontrolü gerektiğinde ikili kap kullanılır. Kabın dışında kaynatılan su buharlaşır ve bu buhar, içinde pişirme yapılan iç kabın dışında yoğunlaşır. (Böyle bir su banyosu laboratuvarlarda da kullanılmaktadır).
    (a) Pişirilecek besine ısı enerjisi nasıl taşınmaktadır.
    (b) İç kapta ulaşılabilecek maksimum sıcaklık nedir?
32. Kimya laboratuvarlarında sıkça yapılan bir gösteride, az miktarda su metal bir kola kutusunda kaynatılır ve maşayla tutulan kutu baş aşağı çevrilerek hızla soğuk su dolu bir kaba daldırılır. Kutunun gürültüyle çöktüğü gözlenir. Kutunun çökmesinin nedenini açıklayınız. (Dikkat: bunu denemek isterseniz kutuyu açık alevde ısıtmayınız).
33. Pişirmeyi hızlandırmak için, basınçlı tencerelerde az miktarda su sabit basınç altında kaynatılarak yüksek pişirme sıcaklıklarına ulaşılır. Böyle bir tencerede basınç 2 atm olursa suyun kaynama noktası ne olur ? Çizelge 12-4 deki verileri kullanınız.
34. Çizelge 12-4 deki verileri kullanarak **(a)** atmosfer basıncının 640 mmHg olduğu bir yerde suyun kaynama noktasını ve **(b)** suyun 94 °C de kaynadığı yerde atmosfer basıncını hesaplayınız.
35. 30,0 °C de 25,0 L He(g) gazı 30,0 °C deki 6,220 g sıvı anilinin ($C_6H_5NH_2$) içinden geçiriliyor. Bu deneyden sonra geri kalan sıvı 6,108 g geliyor. He(g) un anilinle doyduğunu, buhar ve toplam gaz hacminin ve sıcaklığın sabit kaldığını varsayarak, 30,0 °C'de anilinin buhar basıncını hesaplayınız.
36. 742 mmHg basınçta 7,53 L $N_2(g)$ gazı 45 °C de sıvı $CCl_4(s)$ içinden geçiriliyor. Azotun $CCl_4(g)$ ile doyduğunu, basıncın 742 mmHg ve sıcaklığın 45 °C da kaldığını varsayarak oluşan gaz karışımının hacmini hesaplayınız. 45 °C de $CCl_4(s)$ buhar basıncı 261 mmHg dır.
37. Bir zamanlar soğutma ve havalandırma sistemlerinde kullanılan Freon-12, (CCl_2F_2) bileşiği için kn = –29,8 °C, T_k = 111,5 °C ve P_k = 39,6 atm dir. Öteki sıcaklıklardaki buhar basınçları: –12,2°C de, 2,0 atm; 16,1 °C de 5 atm; 42,4 °C de 10,0 atm ve 74,0 °C de 20,0 atm dir. Bu verileri kullanarak, Freon-12 nin buhar basıncı eğrisini çiziniz. 25 °C de buhar halindeki Freon-12 yi sıvılaştırmak için soğutucunun kompresörünün uygulaması gereken yaklaşık sıkıştırma basıncı ne kadardır?
38. 10,0 g sıvı su 1515 mL lik kapalı bir balona konup, 27°C de buharıyla dengeye getiriliyor. Dengedeki buharın, $H_2O(g)$, kütlesi nedir? Çizelge 12-4 deki buhar basıncı verisini kullanınız.

Clausius-Clapeyron Denklemi

39. Sikloheksanolün buhar basıncı 56 °C de 10,0 mmHg ve 103,7 °C de 100,0 mmHg dır. Sikloheksanolün buharlaşma entalpisini, ΔH_{buh} hesaplayınız.
40. Metil alkolün buhar basıncı 5,0 °C de 40,0 mmHg dır. Bu değeri ve bu kitaptaki diğer bilgileri kullanarak, metil alkolün normal kaynama noktasını hesaplayınız.
41. Önemli bir çözücü olan asetonun normal kaynama noktası, 56,2 °C ve ΔH_{buh} 25,5 kJ mol^{-1} dir. Hangi sıcaklıkta asetonun buhar basıncı 375 mmHg dır?
42. Triklormetanın (kloroform) –7,1 °C de buhar basıncı 40,0 Torr dur. Buharlaşma entalpisi 29,2 kJ mol^{-1} olduğuna göre, normal kaynama noktasını hesaplayınız.
43. Benzaldehitin, C_6H_5CHO, normal kaynama noktası 179,0 °C; kritik noktası 422 °C ve 45,9 atm dir. 100,0 °C deki buhar basıncını hesaplayınız.
44. Şekil 12-20 ye bakarak sıvı benzen ve toluenden hangisinin daha uçucu olduğunu belirtiniz. Daha uçucu olan sıvının 65 °C deki buhar basıncına sahip olması için az uçucu olan sıvının sıcaklığı yaklaşık olarak ne olmalıdır ?

Kritik Nokta

45. Çizelge 12-5 deki maddelerden hangileri oda sıcaklığında (20 °C dolayında) sıvı halde bulunabilir? Açıklayınız.
46. SO_2, 100 atm ve 0 °C de sıvı halde saklanabilir mi? Aynı koşullarda sıvı metan elde edilebilir mi?

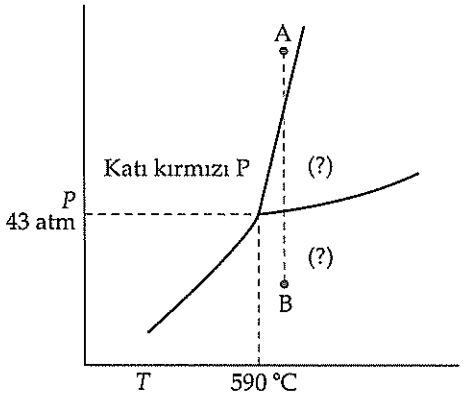
Erime ve Donma

47. Bakırın normal erime noktası 1357 K ve erime entalpisi 13,05 kJ mol^{-1} dir. **(a)** 3,78 kg erimiş bakır örneği donduğu zaman kaç kJ ısı açığa çıkar? **(b)** 75 cm × 15 cm × 12 cm boyutlarında bir bakır çubuk erirken kaç kJ ısı soğurur. (Bakırın yoğunluğu d = 8,92 g cm^{-3})

48. Buz kalorimetresi buzun erimesiyle açığa çıkan ısı miktarını ölçer. 25 °C de ve 748 mmHg basınçta 1,35 L propan, $C_3H_8(g)$ gazının tamamen yanmasıyla açığa çıkan ısı ile kaç g buz eriyebilir? [*İpucu*: Propanın, $C_3H_8(g)$ standart molar yanma entalpisi nedir?]

Maddenin Halleri ve Faz Diyagramları

49. 80,0 g kuru buz , [$CO_2(k)$] 0,500 L'lik bir kaba alınmış ve ağzı kapatılmıştır. Eğer kap 25 °C de tutulursa bu kapta maddenin hangi hali veya halleri bulunur? [*İpucu*: Çizelge 12.5 ve Şekil 12-28 e bakınız].
50. Aşağıdaki verilerden yararlanarak, hidrazin (N_2H_4) için uygun bir faz diyagramı çiziniz: üçlü nokta (2,0 °C ve 3,4 mmHg), normal erime noktası (2 °C), normal kaynama noktası (113,5 °C) ve kritik nokta (380 °C ve 145 atm). Sıvı hidrazinin yoğunluğu katınınkinden düşüktür. Diyagram üzerinde önemli noktaları işaretleyiniz. Bu diyagramda herhangi bir belirsiz özellik kalmış mıdır? Açıklayınız.
51. Aşağıda fosforun faz diyagramının bir bölümü gösterilmiştir.



(a) (?) konulan bölgelerdeki fazları işaretleyiniz.
(b) Atmosfere açık bir kapta kırmızı fosfor ısıtılarak eritilemez. Niçin? Açıklayınız.
(c) Sabit sıcaklıkta basınç *A* noktasından *B* ye düşürülürse oluşan faz değişimlerini açıklayınız.

52. Şekil 12-31 deki gibi bir sistemde aşağıdaki işlemler yapılırsa neler olacağını açıklayınız. Değişimlerin oluşacağı sıcaklık ve basınçlar konusunda yaklaşık tahminler yapabilirsiniz.
(a) Su örneği 600 Torr sabit basınç altında –20 °C den 200 °C ye ısıtılıyor.
(b) 114 °C sabit sıcaklıkta bir I_2 örneği 90 mmHg basınçtan 100 atm basınca sıkıştırılıyor.
(c) 50 atm lik sabit basınç altında bir CO_2 örneği 35 °C den –100 °C ye soğutuluyor. [*İpucu:* Çizelge 12.5 e bakınız.]
53. 0,240 g sıvı su 3,20 L lik havası boşaltılmış, kapalı bir balona konulmuştur. **(a)** 30,0 °C; **(b)** 50,0 °C; **(c)** 70,0 °C de balondaki buhar basınçları nedir?
54. 2,50 g sıvı su 120,0 °C da 5,00 L lik kapalı bir balona konulmuştur.
(a) Suyun tümüyle buhar haline geçeceğini gösteriniz.
(b) Balonun, su yoğunlaşması olmadan soğutulabileceği en düşük sıcaklık nedir?
55. Uygun faz diyagramlarını ve Çizelge 12.5 deki verileri kullanarak, aşağıdaki maddelerin, yeryüzünün herhangi bir yerinde, belirtilen hallerinde doğal olarak bulunup bulunamayacaklarını açıklayınız. **(a)** $CO_2(k)$; **(b)** $CH_4(s)$; **(c)**$SO_2(g)$; **(d)** $I_2(s)$; **(e)** $O_2(s)$.
56. Başlangıçta 1,00 mmHg basınç ve –0,10 °C de bulunan $H_2O(g)$ örneğinin, sabit sıcaklıkta basınç 100 atm oluncaya dek sıkıştırılması sırasında görülecek faz değişimlerini açıklayınız.
57. Yalıtılmış bir kaba 20,0 °C de 100,0 g sıvı su, 100,0 °C de 175 g buhar ve 0,0 °C da 1,65 kg buz konulmuştur.
(a) Denge kurulduktan sonra erimeden kalan buzun kütlesi nedir?
(b) Kaptaki buzun tamamının erimesi için ne kadar *ek* buhara gereksinim vardır?
58. –25,0 °C deki 54 cm^3 lük bir buz küpü, 32,0 °C daki 400,0 mL sıvı suya atılıyor. Kabın çevreden tam olarak yalıtılmış olduğunu varsayarak, son sıcaklığın ne olacağını bulunuz. Mevcut maddenin hali (halleri) ne olur? Buzun özgül ısısı 2,01 J g^{-1} $°C^{-1}$ sıvı suyunki ise 4,18 J g^{-1} $°C^{-1}$ ve ΔH_{eri} = 6,01 kJ mol^{-1}. Buz ve sıvı suyun yoğunlukları sırayla 0,917 ve 0,998 g cm^{-3} tür.
59. Bir soda kutusunu buzlukta soğutuyorsunuz. Kutuyu buzluktan çıkardığınızda soda sıvı olduğu halde; açtığınız zaman sodanın aniden donduğunu görüyorsunuz. Olayın nedenini açıklayınız.
60. Termometrik ölçek oluşturulması için, suyun üçlü noktası (buz-sıvı-buhar) niçin buzun erime noktası ya da suyun kaynama noktasından daha iyi bir sabit noktadır?

Ağörgülü Kovalent Katılar

61. Elmasın mı yoksa grafitin mi daha yüksek yoğunluğa sahip olmasını beklersiniz?
62. Elmas cam kesicilerde kesici uç olarak kullanılmaktadır. Bunu sağlayan elmasın hangi özelliğidir? Grafit bu işlevi yerine getirebilir mi?
63. Bor nitrür, (BN) grafite benzer biçimde kristallenirken, silisyum karbür, (SiC) elmas yapısında kristallenir.
(a) SiC yapısını Şekil 12-32(b) dekine benzer biçimde çiziniz.
(b) BN için bir bağlanma şeması öneriniz.

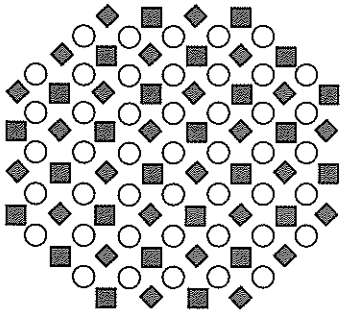
64. Fullerenler kovalent örgülü katılar mıdır? Bunları elmas ve grafitten farklı yapan nedir? Fullerenler, her karbonun yanındakine üçlü bağlarla bağlandığı bir zincir biçiminde gösterilebilirler. Fullerenler, kovalent örgülü bir katı olan karbonun allotropu mudur? Açıklayınız.

İyonik Bağlar ve Özellikler

65. NaF, NaCl, NaBr ve NaI ün erime noktaları sırayla 988, 801, 755 ve 651 °C tır. Bu veriler Kesim 12-5 de ileri sürülen düşünceler ile uyumlu mudur? Açıklayınız.
66. Şekil 12-36 de Na^+Cl^- ve $Mg^{2+}O^{2-}$ iyon çiftleri için yapılan çekim kuvvetleri karşılaştırmasını Coulomb yasası (Ek B) yardımı ile doğrulayınız.
67. Kristallerin sertlikleri Mohs sertlik değerleriyle kıyaslanır. Mohs değeri daha yüksek olan materyal daha zor çizilir. Hangisi en yüksek Mohs değerine sahiptir: NaF, NaCl, KCl?
68. Villemit (NaF) ve periklas (MgO) minerallerinden hangisi daha yüksek Mohs sertlik değerine sahiptir? (Alıştırma 67 ye bakınız.)

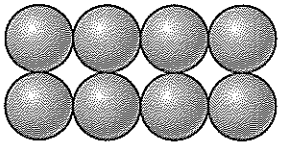
Kristal Yapılar

69. Sık istiflenmiş kürelerin niçin bir değilde, *iki* istiflenme biçiminin bulunduğunu açıklayınız.
70. Argon, bakır, sodyum klorür ve karbon dioksit maddelerinin hepsi de *ymk* yapıda kristallenir. O halde, bu maddelerin fiziksel özelliklerinin bu kadar farklı olabilmesini nasıl açıklarsınız?
71. Aşağıda gösterilen iki boyutlu örgü yapısı için

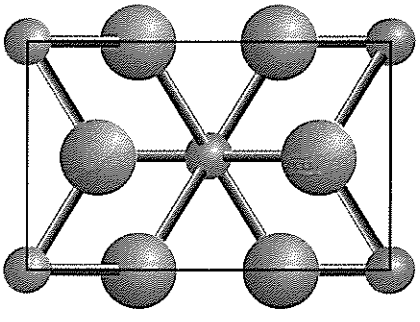


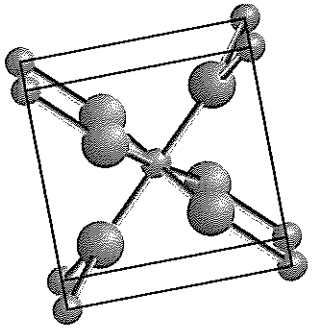
(a) Birim hücreyi gösteriniz.
(b) Bu birim hücrede: ◆, ■ ve O elementlerinin her birinden kaçar tane vardır?
(c) Birim hücreden daha basit birimler bulunduğunu göstererek, neden bunların birim hücre işlevini yürütemeyeceklerini açıklayınız.

72. Kesim 12-6 da gördüğümüz gibi, kürelerin istiflenmesinde her zaman boşluklar kalır. Durumu iki boyutlu olarak düşünürsek; karelerin bütün alanları kaplayabildiğini ama daireler arasında boşluk kaldığını görürüz. Aşağıdaki daire istiflenmesinde, boş alanların yüzdesi nedir?



73. Tungsten *imk* kristal yapısına sahiptir. W atomunun metalik yarıçapını 139 pm alarak, yoğunluğunu hesaplayınız.
74. Magnezyum, Şekil 12-41 de gösterildiği gibi, *hsi* (heksagonal sık istiflenme) yapısında kristallenir. Birim hücrenin yüksekliği 520 pm ve kenar uzunluğu 320 pm olduğuna göre Mg nin yoğunluğunu hesaplayınız. Deneysel olarak bulunan 1,738 g/cm^3 değeriyle karşılaştırınız.
75. Polonyum 16. Gurubun en büyük çaplı üyesi olup basit kübik kristal (bk) yapıdaki tek elementtir. Bu yapıda polonyum atomlarının arasındaki mesafe 335 pm dir.
(a) Po atomunun çapı nedir?
(b) Po metalinin yoğunluğu nedir?
(c) Po birim hücresinin paralel yüzlerine dalga boyu $1{,}785 \times 10^{-10}$ m olan X-ışınları hangi açıyla düşürülürse birinci derece kırınım gözlenir?
76. Germanyum bir kenarı 565 pm olan bir kübik birim hücreye sahiptir. Germanyumun yoğunluğu 5,36 g/cm^3 olduğuna göre, kristal sistemi nedir?
77. Silisyum tetraflorür molekülleri iç merkezli kübik birim hücrede düzenlenirler. Bu birim hücrede kaç silisyum atomu vardır?
78. Rutil (TiO_2) birim hücresinin üstten ve yandan görünüşleri aşağıdadır. **(a)** Bu birim hücrede kaç titanyum atomu (mavi) vardır? **(b)** Bu birim hücrede kaç oksijen atomu (kırmızı) vardır?





İyonik Kristal Yapılar

79. CaF_2 ve TiO_2 için Şekil 12-50 de gösterilen birim hücrelerin, bu bileşiklerin fomülleri ile uyuştuğunu gösteriniz.
80. Örnek 12-10 ve 12-11 dekilere benzer bir yöntem kullanarak, CsCl ün yoğunluğunu hesaplayınız. Cs^+ iyonunun yarıçapını 169 pm alınız.
81. MgO in kristal yapısı NaCl tipindedir (Şekil 12-48). Bu bilgiyi ve Şekil 9-8 deki iyonik yarıçapları kullanarak,
    (a) Mg^{2+} ve O^{2-} için koordinasyon sayılarını,
    (b) birim hücredeki formül birimlerinin sayısını,
    (c) birim hücre kenarını ve hacmini
    (d) MgO in yoğunluğunu hesaplayınız.
82. KCl, NaCl ile aynı kristal yapısına sahiptir. K^+ ve Cl^- iyonları arasındaki uzaklık 314,54 pm olarak ölçüldüğüne ve KCl ün yoğunluğu 1,9893 g/cm^3 olduğuna göre, Avogadro sayısı, N_A, nedir?
83. Şekil 9-9 daki verileri kullanarak aşağıdakilerin birim kübik hücre tiplerini kestiriniz. **(a)** CaO; **(b)** CuCl; **(c)** LiO_2 (O_2^- iyonunun yarıçapı 128 pm dir.)
84. Şekil 9-9 daki verileri kullanarak aşağıdakilerin birim kübik hücre tiplerini kestiriniz **(a)** BaO; **(b)** CuI; **(c)** LiS_2 (S_2^- iyonunun yarıçapı 198 pm ve Ba^{2+} iyonunun yarıçapı 135 pm dir.)

Örgü Enerjisi

85. LiCl(k), KCl(k), RbCl(k) ve CsCl(k) kristal örgü enerjilerinin, –787 kJ/mol olarak belirlenen NaCl(k) örgü enerjisine (sayfa 543) göre, ne olabileceklerini *hesap yapmadan* kestiriniz. [*İpucu:* Alkali metallerin süblimleşme entalpilerin karşılaştırılabilir olduğunu varsayınız. Bölüm 9 daki hangi atom özelliklerini karşılaştırabilirsiniz?]
86. Aşağıdaki verilerden KF(k) örgü enerjisini belirleyiniz. ΔH°_{ol} [KF(k)] = –567,3 kJ mol^{-1}; K(k) için süblimleşme entalpisi, 89,24 kJ mol^{-1}; F_2(g) ayrışma entalpisi, 159 kJ mol^{-1}; K için I_1, 418,9 kJ mol^{-1}; F(g) için Eİ , –328 kJ mol^{-1}.
87. Örnek 12-12 ve buradaki verileri kullanarak, $MgCl_2$ (k) için ΔH°_{ol} değerini hesaplayınız. $MgCl_2$ ün neden MgCl den daha kararlı bir bileşik olduğunu açıklayınız. Mg için I_2 , 1451 kJ mol^{-1} ve $MgCl_2$ (k) için örgü enerjisi –2526 kJ mol^{-1}.
88. Belirli metallerin iyonik bileşiklerinde hidrojen, hidrür iyonu (H^-) olarak bulunur. Hidrojenin elektron ilgisini bulunuz: $H(g) + e^- \rightarrow H^-(g)$]. Bu soruyu çözmek için; (1) Kesim 12-7 deki verileri; (2) Çizelge 10.3 den H_2(g) için bağ enerjisini; (3) NaH(k) için örgü enerjisi olarak – 812 kJ mol^{-1} değerini ve (4) NaH(k) için oluşum entalpisi olarak –57 kJ mol^{-1} değerini kullanınız.

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

89. Bir mum yandığında, yakıt fitilin ucunda *gaz* hidrokarbonlar meydana gelir. Katı haldeki mumun tükenmesi olayında faz değişmelerini açıklayınız.
90. Suyun normal kaynama noktası 100,00 °C ve bu sıcaklıkta buharlaşma entalpisi, ΔH_{buh} = 40,657 kJ mol^{-1} dir. Basınç bir atm yerine 1 bar olsa suyun kaynama noktası ne olurdu?
91. Bir tüp gaz firması, müşterilerini, tüplerinde ne kadar gaz kaldığını anlamak için, tüpü tartıp dolu tüp ağırlığıyla karşılaştırmaları konusunda uyarmaktadır. Müşterilere özellikle, tüpteki gaz basıncını ölçerek, kullanılabilecek gaz miktarını hesaplamaya çabalamamaları anlatılmaktadır. Bu uyarının temelini açıklayınız. Gaz basıncının, kalan gaz miktarının ölçüsü olarak *kullanılabileceği* durumlar var mıdır? Varsa nedir?
92. –50,0 °C de 15,0 g katı cıvayı 25 °C de buhara dönüştürmek için gerekli ısı miktarını Ek D deki ve aşağıdaki verileri kullanarak hesaplayınız. Katı ve sıvı cıvanın özgül ısıları sırayla, 24,3 ve 28,0 J mol^{-1}K^{-1}; katı cıvanın erime noktası –38,87 °C ve erime ısısı 2,33 kJ mol^{-1} dür.
93. 20 °C de 1,000 g suyu buharlaştırmak için 2447 J ısı gerekmektedir. 100 °C de 10,00 kJ ısı, 4,430 g sıvı suyu buhara çevirir. Bu gözlemler beklentilerinizle uyuşuyor mu ? Açıklayınız.
94. Ağırlıkça %10 etanol (suda) içeren bir oto spreyinin 1,00 g miktarı buharlaştığında ne kadar ısı soğurur ? Sıcaklığın 55 °C ve havanın ısı kapasitesinin 29 J mol^{-1} K^{-1} olduğunu varsayarak ve Çizelge 12.3 deki buharlaşma entalpilerini kullanarak bu spreyin etkinliğini irdeleyiniz.
95. Katı *p*-diklorbenzen, $C_6H_4Cl_2$(k), kolay süblimleştiğinden ağızda koku giderici olarak kullanılır. Aşağıdaki verileri kullanarak 25 °C de $C_6H_4Cl_2$(k) in süblimleşme basıncını hesaplayınız. $C_6H_4Cl_2$(k) için erime noktası 53,1 °C; 54,8 °C de $C_6H_4Cl_2$(s) buhar basıncı 10,00 mmHg; Erime entalpisi, ΔH_{eri}=17,88 kJ mol^{-1}; buharlaşma entalpisi, ΔH_{buh}=72,22 kJ mol^{-1}.
96. 1,05 mol H_2O(g) örneği 30,0 °C de 2,61 L'lik bir balona basılmıştır. Son koşullar için Şekil 12-30 de gösterilen nokta ya da noktaları açıklayınız.
97. Bir el kitabında *katı* benzenin süblimleşme basıncı, *Kelvin* sıcaklığının (T), fonksiyonu olarak, log$P$ (mmHg) = 9,846 – 2309/T bağıntısıyla verilmektedir. Bir başka el kitabında *sıvı* benzenin buhar basıncı *Celsius* sıcaklığının (t) fonksiyonu olarak, log$P$ (mmHg) = 6,90565 – 1211,033/(220,790+t) biçiminde verilmiştir. Bu denklemleri kullanarak benzenin normal erime noktasını hesaplayınız. Bulduğunuz değeri 5,5 °C değeri ile karşılaştırınız.
98. Şekil 12-20 deki grafik yöntemini kullanarak beyaz fosforun ln$P$ ye karşı 1/T grafiğini çiziniz. **(a)** Beyaz fosforun normal kaynama noktasını ve **(b)** ΔH_{buh}, buharlaşma entalpisini kJ mol^{-1} birimin-

de hesaplayınız. Buhar-basınç verileri: 76,6 °C, 1 mmHg; 128,0 °C, 10 mmHg; 166,7 °C, 40 mmHg; 197,3 °C, 100 mmHg; 251,0 °C, 400 mmHg.

99. Bir buz patencisi 80 kg dır ve paten 2,5 cm^2 buz ile temas etmektedir. **(a)** Buza uygulanan basıncı atm biriminde hesaplayınız. **(b)** Her 125 atm'de erime noktası 1,0 °C düştüğüne göre, patenin altındaki buzun erime noktasının ne olması beklenir?

100. Rakımın 3170 m olduğu yükseklikte suyun kaynama noktasını hesaplayınız. Bunun için basıncın rakımla değişimini veren şu barometrik denklemi kullanınız: $P = P_0 \times 10^{-Mgh/2{,}303RT}$ (P = atm olarak basınç; $P_0 = 1$ atm; g = yer çekimi ivmesi; havanın mol kütlesi, $M = 0{,}02896$ kg mol^{-1}; R = 8,3145 J $mol^{-1}K^{-1}$ ve T, kelvin sıcaklığı). Hava sıcaklığını 10,0 °C varsayınız ve ΔH_{buh}=41 kJ mol^{-1} H_2O.

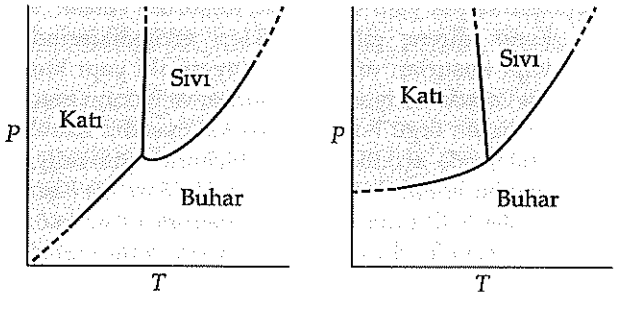
101. Şekil 12-20 deki benzen ve su doğrularında, iki sıvının aynı buhar basıncına sahip olduğu bir değer, sayfa dışına düşse de vardır. Grafiklerden elde edilen verilere dayanarak bu noktada sıcaklık ve buhar basıncını hesaplayınız.

102. İç çapı 10 inç ve yüksekliği 45 inç olan bir silindir 151 lb Cl_2 gazı içermektedir. Gaz basıncı 20 °C de 100 psi (atm = 14,7 psi), Cl_2 nin erime sıcaklığı – 103 °C ve kaynama sıcaklığı –35 °C; Cl_2'ın kritik noktası 144 °C ve 76 atm dir. Silindirdeki Cl_2 hangi fiziksel hal ya da hallerdedir?

103. Asetik asit buharında bazı moleküller monomer bazıları ise dimer halindedir (bakınız Şekil 12-9). Eğer buhar yoğunluğu 350 K ve 1 atm de 3,23 g/L ise molekülün % kaçı dimer haldedir? Bu yüzdenin sıcaklıkla artması mı yoksa azalması mı beklenir?

104. 20 °C de 685 mL sıvı cıva örneği, ısıl olarak yalıtılmış bir kapta k.n'sında bulunan çok miktardaki sıvı azota ilave edilmiştir. Cıva sıvı N_2 un kn sıcaklığına düşünceye dek ne kadar sıvı azot buharlaşır? 20/–30° aralığında Hg(s) özgül ısısı 0,138 J g^{-1} $°C^{-1}$ ve –39/–196 °C aralığında Hg(k) özgül ısısı 0,126 J g^{-1} $°C^{-1}$, Hg(s) yoğunluğu 13,6 g/mL, erime noktası –39 °C ve erime entalpisi 2,30 kJ mol^{-1}. N_2(s) için kn. –196 °C ve ΔH_{buh}, 5,58 kJ mol^{-1}.

105. Bir maddenin iki imgesel faz diyagramı aşağıda verilmiştir. Fakat bu diyagramların ikisi de olası değildir. Diyagramlardaki yanlışları belirtiniz.

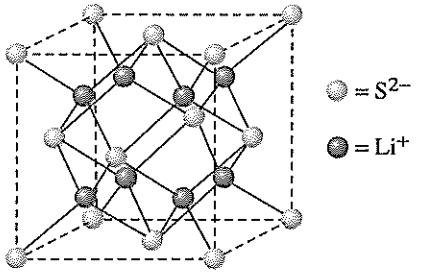


106. Bir kimya el kitabında NH_3(s) buhar basıncı, sıcaklığın fonksiyonu olarak aşağıdaki denklemle verilmektedir. NH_3(s) için normal kaynama noktası nedir?

$$\log_{10} P(\text{mmHg}) = 9{,}95028 - 0{,}003863T - \frac{1473{,}17}{T}$$

107. Bizmutun üçlü nokta sıcaklığı 544,5 K ve normal kaynama noktası 1832 K dir. Bir kapta 1 atm sabit basınç altında tutulan 1,00 mol bizmut örneğinin 1,00 kJ dak^{-1} hızda ısıtıldığını varsayınız. Zaman ve sıcaklık eksenlerini olabildiğince geniş tutarak bizmut örneği için, 300 K den 2000 K sıcaklığına Şekil 12-24 dekine benzer bir ısınma eğrisi çiziniz. Aşağıdaki verileri kullanınız: Katı bizmut, Bi(k) için ΔH_{eri} = 10,9 kJ mol^{-1}; Bi(s) için ΔH_{buh} = 151,5 kJ mol^{-1}; ortalama ısı kapasitesi Bi(k) için 28, Bi(s) için 31 ve Bi(g) için 21 J $mol^{-1}K^{-1}$ [*İpucu*: Verilen koşullarda, normal kaynama noktasına kadar buhar oluşmamaktadır].

108. Lityum sülfürün (Li_2S) kristal yapısı aşağıda verilmiştir. Birim hücre kenarı 5,88 × 10^2 pm olduğuna göre



(a) Li^+ ve S^{2-} koordinasyon sayılarını
(b) birim hücredeki formül birimi sayısını
(c) Li_2S ün yoğunluğunu bulunuz.

109. Şekil 12-44 ve 12-48 i inceleyiniz. 12-44 de iki iyon düzleminin, 12-48 deki NaCl birim hücresinin üst ve orta iyon düzlemlerine karşılık geldiğini varsayınız. Eğer 154,1 pm dalgaboylu X-ışınları kullanılırsa, en şiddetli kırınım için θ açısı ne olmalıdır? [*İpucu:* (12.5) eşitliğinde $n = 1$ alınız.]

110. Sayfa 534'deki *imk* yapısının irdelenmesini ve 139. Alıştırmadaki *ymk* yapısını kullanarak, ymk yapıdaki küre istiflenmesinde, boşluk yüzdesini hesaplayınız.

111. İyonik kristaller, istiflenmiş anyonlar arası boşlukların katyonlarca doldurulması biçiminde açıklanır. Sık istiflenmiş anyonlar arasındaki dörtyüzlü boşlukların katyonlarca doldurulması için katyon: anyon yarıçap oranının $0{,}225 < r_k/r_a < 0{,}414$ aralığında olması gerektiğini gösteriniz.

112. Şekil 12-32b'deki elmas birim hücresini, karbon-karbon bağ uzunluğunu (154,45) pm ve kitaptaki diğer verileri kullanarak, elmasın yoğunluğunu hesaplayınız.

113. NaI(k) için oluşum entalpisi –288 kJ mol^{-1} dir. Kitaptaki diğer gerekli verileri de kullanarak NaI(k) örgü enerjisini hesaplayınız. [*İpucu:* Ek D'deki verilerden yararlanınız.]

114. $NaCl_2(k)$ bileşiğinin kararsız olduğunu, yani $\Delta H°_{ol}[NaCl_2(k)]$ değerinin çok *büyük pozitif*–değere sahip olduğunu gösteriniz. Bunun için kesim 12-7 deki verileri kullanınız. $NaCl_2$ örgü enerjisinin yaklaşık $MgCl_2$ örgü enerjisine, $(-2,5 \times 10^3 kJ\ mol^{-1})$, eşit olduğunu varsayınız.

115. Bir kristal katı Na^+, O^{2-} ve Cl^- iyonlarını içermektedir. Bu katı O^{2-} iyonlarının köşelerde, Na^+ iyonlarının yüzey merkezlerinde ve Cl^- iyonunun merkezde yer aldığı kübik birim hücrelerden oluşmaktadır. Bileşiğin formülü nedir? O^{2-} ve Cl^- iyonlarının koordinasyon sayıları nedir? Birim hücrenin kenarı *a* ise Na^+ iyonu merkezi ile O^{2-} iyon merkezi arasındaki en kısa uzaklık nedir? Benzer şekilde Cl^- iyonu merkeziyle O^{2-} iyonu merkezi arasındak en kısa uzaklık nedir?

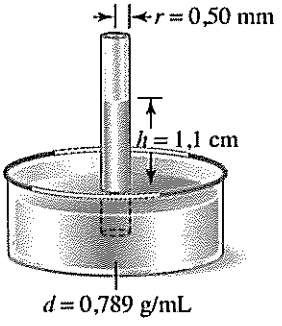
116. Bir mineral, kalsiyumun köşelerde, oksijenin yüzey merkezlerinde ve titanyumun hücre merkezinde yer aldığı kübik birim hücrelere sahiptir. Mineralin formülü nedir? Kalsiyumun birim hücrelerin merkezinde yer aldığı bir başka çizimde titanyum ve oksijenin konumları nedir? Her iki gösterimde belirli bir titanyum atomu kaç tane oksijen tarafından sarılır?

117. CaF_2 için yarıçap oranını (r_+/r_-) hesaplayınız. Hesapladığınız yarıçap oranına Şekil 12-50(b) den daha iyi uyan bir yapı öneriniz.

118. Bazı mutfak ocaklarında, çekiç benzeri bir düzenek ile uyarıldığında voltaj üreterek karşıt bir elektrik kıvılcımına yol açan, küçük kristalden oluşan elektrikli bir çakmak vardır. Böyle mekanik bir etkiyle elektriksel potansiyel yaratma olgusu piezoelektrik etki diye bilinir. Piezoelektrik etki sergileyen böyle bir kristal, kurşun zirkonat titanattır. Bu kristal yapıda, bir titanyum (IV) iyonu, 0,403 nm × 0,398 nm × 398 nm boyutlarına sahip tetragonal birim hücrenin ortasına yerleşmiştir. Her köşede bir kurşun(II) iyonu ve her yüzeyin merkezinde bir oksijen anyonu vardır. Bazı Ti(IV) iyonları Zr(IV) iyonlarıyla yer değiştirmiştir. Bu yer değiştirme Pb(II) boyunca piezoelektrik davranışa yol açar. **(a)** Bu birim hücrede kaç oksijen iyonu vardır? **(b)** birim hücrede kaç kurşun (II) iyonu vardır? **(c)** birim hücrede kaç titanyum (IV) iyonu vardır. **(d)** bu birim hücrenin yoğunluğu nedir?

Özellikli Sorular

119. Kılcal etki deneyinde yükseklik *(h)*, sıvının yoğunluğuna *(d)*, yüzey gerilimine (γ) ve kılcal yarıçapa *(r)* bağlıdır. Bu nicelikler ve yer çekimi ivmesi *(g)* arasında şöyle bir bağıntı vardır: $h = 2\gamma/dgr$. Aşağıda etanolün kılcal etkisi için bir çizim verilmiştir. Etanolün yüzey gerilimi nedir?



120. Sıvının buharlaşma entalpisinin genel olarak sıcaklıkla değiştiğini öğrendik. Eğer bunu ihmal etmezsek, Clausius-Clapeyron denklemini kitapta verildiği şekliyle (12–2) kullanamayız. Bunun yerine, Clausius-Clapeyron denkleminin dayandığı diferansiyel denkleme dönüp yeniden integral almalıyız. Bunun için başlangıç noktamız, buhar basıncının sıcaklıkla değişme hızını $(\frac{dP}{dT})$, buharlaşma entalpisi (ΔH_{buh}) molar buhar (V_g) ve molar sıvı (V_s) hacimleri farkı ve sıcaklık (T) terimleriyle veren

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_{buh}}{T(V_g - V_s)}$$

denklemi olacaktır. Çoğu kez $V_g > V_s$ olduğundan V_s ihmal edilebilir. Buhar basıncı çok yüksek olmadıkça, buharı ideal gaz olarak değerlendirebiliriz, yani bir mol buhar için $PV=RT$ yazılabilir. Gerekli ifadeleri yukarıdaki eşitlikte yerine koyarak, P ve dP terimlerini T ve dT terimlerinden ayırınız. Yukarıdaki eşitlikte ΔH_{buh} değerini sıcaklığın fonksiyonu olarak yerine koyunuz. Son olarak denklemin bir tarafını P_1 ve P_2 aralığında, diğer tarafını T_1 ve T_2 aralığında integralini alınız.

(a) $\Delta H_{buh}(J\ mol^{-1}) = 15,971+14,55\ T - 0,160\ T^2$ eşitliğine göre $C_2H_4(s)$ buhar basıncını sıcaklığın fonksiyonu olarak veren bir eşitlik yazınız.

(b) (a) denkleminde, $C_2H_4(s)$ için 120 K sıcaklık 10,16 Torr gerçek buhar basıncı değerini kullanarak etilenin normal kaynama noktasını belirleyiniz.

121. Her katıda yapı ve bileşim kusurları vardır. Mekanik direnç gibi özellikleri etkilediklerinden yapı kusurları önemlidir. Yaygın iki yapı kusuru: yapıda bir iyon eksik olması ve iyonun gerçek yerinden örgü boşluklarına kaymasıdır. Küreler, aralarında açıklık kalacak biçimde istiflendiğinden bu bölümde ele alınan boşluklara *ara boşluklar* denir. Burada açıklanan kusurlar kristalin özel bir yerinde olduğundan bunlara *nokta kusurları*

denir. 1930 larda iki katıhal fizikçisi, W. Schottky ve J. Fraenkel bu iki tip nokta kusurunu incelediler. Schottky kusuru, örgüde bir iyon eksikliğine, Fraenkel kusuru, ise bir iyonun boşluklara kaymasına karşılıktır.

(a) NaCl yapısında bir Na^+ iyonu eksikliği Schottky kusurudur. Na^+ eksikliği, elektriksel nötralliğin sağlanması için Cl^- iyonunun da olmaması anlamına gelir. Eğer birim hücrede bir NaCl birimi eksilirse net stokiyometri ve yoğunluk değişimi ne olur?

(b) NaCl yapısına benzeyen AgCl de, bir Ag^+ iyonunun normal sekizyüzlü yerinden bir dörtyüzlü boşluğuna geçmesi bir Fraenkel kusurudur. Bu durumda bileşiğin stokiyometrisi değişir mi, yoğunluk değişimi beklenir mi?

(c) Titanyum monoksit (TiO), NaCl yapısındadır. X- ışını kırınımı birim hücre kenarının 418 pm olduğunu göstermektedir. Kristalin yoğunluğu 4,92 g/cm^3 tür. Bu veriler örgüde kusur olduğunu gösterir mi? Varsa ne tür bir kusurdur?

122. İyonik kristal örgüde her katyon kendisine komşu anyonlar tarafından çekilir ve yakınındaki katyonlarca itilir. Sonuçta, bu Coulomb (kulon) potansiyeli kristalin tipine bağlı olarak örgü enerjisi yaratır. Toplam kristal enerjisini elde etmek için belli bir iyon üzerindeki tüm elektrostatik etkileşimlerin toplamı alınmalıdır. Elektrostatik potansiyelin genel denklemi şöyledir:

$$V = \frac{Q_1 Q_2 e^2}{d_{12}}$$

Burada Q_1 ve Q_2 sırayla 1 ve 2 iyonlarının yükü, d_{12} kristal örgüde iyonlar arası uzaklık ve e elektronun yüküdür. **(a)** Aşağıdaki doğrusal "kristal"i



göz önüne alınız. R bitişik kürelerin merkezleri arasındaki uzaklıktır. Mavi ve yeşil kürelerin katyon, kırmızı kürelerin de anyon olduğunu varsayınız. Toplam elektrostatik enerjinin

$$V = -\frac{Q^2 e^2}{d} \times \ln 2$$

olduğunu gösteriniz.

(b) Genel olarak bir kristalde elektrostatik potansiyel

$$V = -k_M \frac{Q^2 e^2}{R}$$

biçiminde yazılabilir, burada k_M göz önüne alınan özel bir kristal sistemi için Madelung sabiti denilen bir geometrik sabittir. Şimdi NaCl kristal yapısını göz önüne alınız. R, sodyum ve klorür iyonlarının merkezleri arasındaki uzaklık olsun. Merkezi klorür iyonuna en yakın üç tabakanın göz önüne alınmasıyla k_M bağıntısının

$$k_M = \left(6 - \frac{12}{\sqrt{2}} + \frac{8}{\sqrt{3}} - \frac{6}{\sqrt{4}} \cdots\right)$$

olduğunu gösteriniz.

(c) Aynı hesaplamayı CsCl için yapınız. Madelung sabiti aynı mıdır?

123. Aşağıdaki verilerden, önce kaynama noktasını kutuplanabilirliğe karşı sonra kaynama noktasını molekül kütlesine karşı grafiğe alınız. Bu grafiklerden hangi sonuçları çıkarabilirsiniz?

Bileşik	Kutuplanabilirlik, 10^{-25} cm^3	Kütle, akb	Kaynama Noktası, K
H_2	7,90	2,0158	20,35
N_2	17,6	28,0134	77,35
O_2	16,0	31,9988	90,188
Cl_2	46,1	70,906	238,25
HF	24,6	20,01	292,69
HCl	26,3	36,46	188,25
HBr	36,1	80,92	206,15
HI	54,4	127,91	237,77
N_2O	30,0	44,01	184,65
CO	19,5	28,01	81,65
SO_2	37,2	64,06	263,15
H_2S	37,8	34,08	212,45
CS_2	87,4	76,14	319,45
NH_3	22,6	17,03	239,8
HCN	25,9	27,03	299,15
CH_4	26,0	16,04	109,15
C_2H_6	44,7	30,07	184,55
$CH_2{=}CH_2$	42,6	28,05	169,45
CH=CH	33,3	26,01	189,15
C_3H_8	62,9	44,11	231,05
C_6H_6	103	78,12	353,25
CH_3Cl	45,6	50,94	248,95
CH_2Cl_2	64,8	84,93	313,15
$CHCl_3$	82,3	119,38	334,85
CCl_4	105	153,81	349,95
CH_3OH	32,3	32,04	338,15

124. Born-Fajans-Haber çevrimi örgü enerjisini belirlemek için termodinamik çevrimi kullanır. Born-Fajans-Haber yöntemine alternatif bir yöntem, temel ilkelere dayanır. Bir iyonik kristalde Coulomb etkileşimleri baskın olduğundan, örgü enerjisini hesaplamak için elektrostatik kuramı kullanabiliriz. Kapustinskii bu düşünceye dayanarak aşağıdaki denklemi önermiştir:

$$U = \frac{120{,}250\, v\, Z^+ Z^-}{r_0}\left(1 - \frac{34{,}5}{r_0}\right) (\text{kJ mol}^{-1})$$

Burada formül birimi başına iyon sayısı v ile verilir ve r_0 iyonik çapların toplamıdır, yani $r_+ + r_-$ (pm). Bu denklemi kullanarak aşağıdaki çizelgeyi tamamlayınız.

Bileşik	Örgü Enerjisi, kJ mol^{-1}	r_-, pm	r_+, pm
NaCl		181	99
LaF_3		133	117
Na_2SO_4	−3389		99

Kendi Kendini Deneme Alıştırmaları

125. Aşağıdaki terimleri tanımlayınız, simgeleri açıklayınız: (a) ΔH_{buh}; (b) T_k; (c) anlık dipol; (d) kristal koordinasyon sayısı; (e) birim hücre.

126. Aşağıdaki olay ya da yöntemleri kısaca açıklayınız: (a) kılcal etki; (b) polimorfizm; (c) süblimleşme; (d) aşırı soğuma; (e) sıvının soğuma eğrisinden yararlanılarak donma noktasının belirlenmesi.

127. Aşağıdaki terim çiftlerinin farkını açıklayınız. (a) adezyon ve kohezyon kuvvetleri; (b) buharlaşma ve yoğunlaşma; (c) üçlü nokta ve kritik nokta; (d) yüzey merkezli kübik ve iç merkezli kübik hücre; (e) dörtyüzlü ve sekizyüzlü boşluk.

128. Aşağıdaki özelliklerden hangisinin büyüklüğü sıcaklıkla her zaman artar? (a) yüzey gerilimi; (b) yoğunluk; (c) buhar basıncı; (d) ΔH_{buh}

129. HF, CH_4, CH_3OH, N_2H_4 ve $CHCl_3$ bileşeklerinden (a) hiçbirinde; (b) ikisinde; (c) üçünde; (d) biri dışı hepsinde; (e) hepsinde, hidrojen bağı önemli bir moleküller arası kuvvettir, yargılarından hangisi doğrudur?

130. İç merkezli kübik (*imk*) yapıda kristallenen bir metalin koordinasyon sayısı aşağıdakilerden hangisidir? (a) 6; (b) 8 (c) 12 (d) 4-12 arasında herhangi bir çift sayı

131. İyonik kristallerin birim hücreleri ile ilgili olarak aşağıdaki yargılardan hangisi doğrudur? Diğerleri niçin yanlıştır? Birim hücre; (a) iyonların bir bölümünü öteki birim hücrelerle paylaşır; (b) formül birimiyle aynıdır; (c) kübik biçimli iyonik kristalin bir bölümüdür; (d) her zaman eşit sayıda anyon ve katyon içerir.

132. Eğer bir maddenin üçlü nokta basıncı 1 atm den büyükse, aşağıdaki çıkarımlardan hangi ikisi doğrudur?
(a) Maddenin katı ve sıvı halleri birlikte dengede bulunamaz.
(b) Maddenin erime ve kaynama noktası aynıdır.
(c) Maddenin sıvı hali yoktur.
(d) Maddenin sıvı hali 1 atm basınçta açık bir beherde saklanamaz.
(e) Katının erime noktası 0 °C den büyük olmak zorundadır.
(f) 1 atm basınçta gaz hali, üçlü nokta sıcaklığında kırağılaşamaz.

133. Aşağıdaki madde çiftlerinden hangisinin daha yüksek kaynama noktasına sahip olması beklenir? (a) C_7H_{16} ve $C_{10}H_{22}$; (b) C_3H_8 ve $(CH_3)_2O$; (c) CH_3CH_2SH ve CH_3CH_2OH.

134. Aşağıdaki maddeler kaynama noktası artışına göre sıralanmış, ancak biri yanlış yere konulmuştur. Bunun hangisi olduğunu belirterek, olması gereken yere yerleştiriniz. N_2, O_3, F_2, Ar, Cl_2. Gerekçenizi açıklayınız.

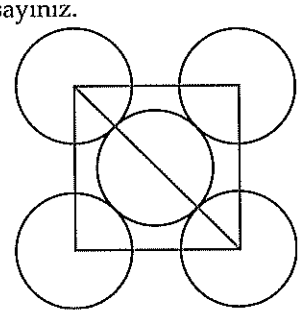
135. Aşağıdaki maddeleri beklenen erime noktalarının artışına göre sıralayınız: KI, Ne, K_2SO_4, C_3H_8, CH_3CH_2OH, MgO, $CH_2OHCHOHCH_2OH$.

136. Bir soğutucuya ya da 0 °C nin altında bir kaba koymadan sıvı sudan buz elde etmek mümkün müdür? Yanıtınız evet ise bu nasıl yapılabilir?

137. Şekil 12-22 deki olay sadece kapalı tüpe uygun miktarda sıvı konursa görülür. Neden? Eğer başlangıçta çok az sıvı varsa ne beklenir? Çok fazla sıvı olması halinde ne gözlenir?

138. CCl_4 bileşiğine ilişkin veriler şunlardır: Normal erime noktası -23 °C; normal kaynama noktası 77 °C; sıvısının yoğunluğu 1,59 g/mL; ΔH_{eri} = 3,28kJ/mol; 25 °C de buhar basıncı 110 Torr
(a) 25 °C de 8,21 L lik bir kapta 3,50 g CCl_4 bulunursa, hangi fazlar (katı, sıvı ya da gaz) mevcuttur?
(b) 2,00 L CCl_4(s) ü kaynama noktasında buharlaştırmak için ne kadar ısı gerekir?

139. *ymk* birim hücre aşağıda gösterildiği gibi, her köşesinde ve her yüzey merkezinde atomlar bulunan bir küptür. Bir bakır atomun yarıçapını 128 pm varsayınız.



(a) Bakır birim hücrenin kenar uzunluğu nedir?
(b) Birim hücre hacmi nedir?
(c) Birim hücrede kaç atom vardır?
(d) Birim hücre hacminin yüzde kaçı doludur?
(e) Birim hücre kütlesi nedir?
(f) Bakırın yoğunluğunu hesaplayınız.

140. 20 °C de aşağıdaki sıvılardan hangisi en küçük yüzey gerilimine sahiptir? (a) CH_3OH; (b) CH_3CH_2OH; (c) $CH_3CH_2CH_2OH$; (d) $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$.

141. 20 °C de aşağıdaki sıvılardan hangisi en küçük viskositeye sahiptir? (a) Dodekan, $C_{12}H_{26}$; (b) *n*-nonan, C_9H_{20}; (c) *n*-heptan, C_7H_{16}; (d) *n*-pentan, C_5H_{12}.

142. Bir iyonik kristalin mi yoksa kovalent örgülü bir kristalin mi daha yüksek erime noktasına sahip olmasını beklersiniz?

143. Lityum iyodür kristalinde, Li–I aralığı 3,02 Å olduğuna göre, iyodür iyonlarının temas ettiğini varsayarak iyodürün yarıçapını hesaplayınız.

144. Metalik bir katının üstündeki basınç arttıkça aşağıdaki faz geçişlerinden hangisinin oluşma olasılığı artar? (a) *imk*'ten *bk* (basit kübik); (b) *ymk*'ten bk; (c) *imk*'ten *ymk*'e; (d) *ymk*'ten *bk*.

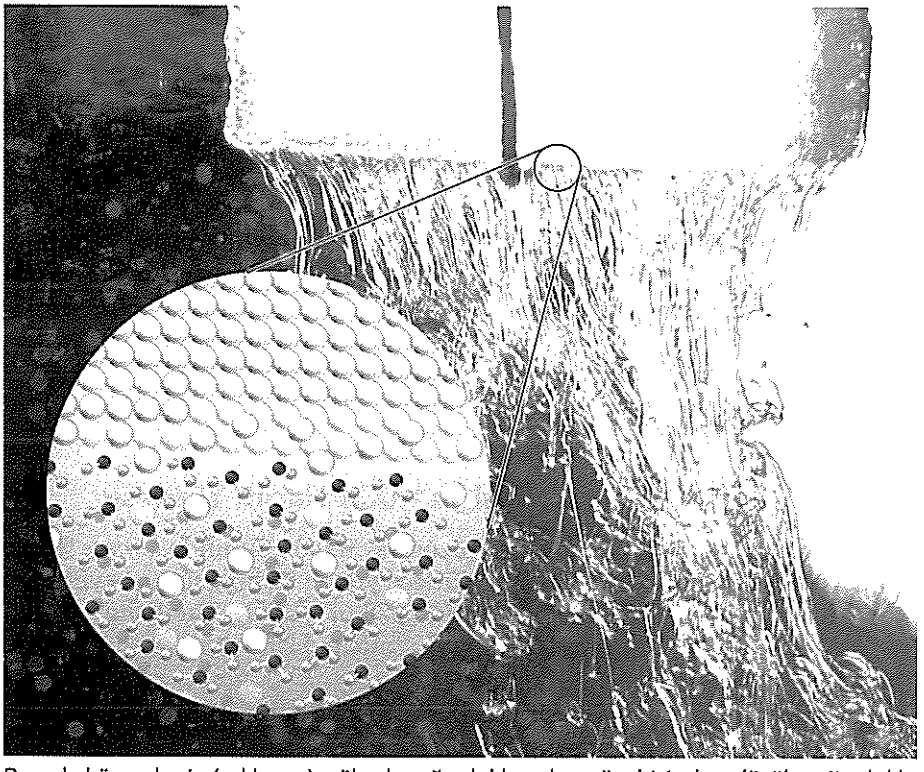
145. Farklı tip moleküller arası kuvvetleri ve kökenlerini gösteren bir kavram haritası oluşturunuz.

146. Kürelerin istiflenmesi, metal ve iyonik kristal yapı kavramlarını kullanarak bir kavram haritası oluşturunuz.

147. Faz diyagramının içerdiği kavramları gösteren bir kavram haritası çiziniz.

13

Çözeltiler ve Fiziksel Özellikleri



Burada küp şekerin (sakkaroz), yüksek yoğunluklu şeker çözeltisinden düşük yoğunluklu suya doğru döne döne akarak çözünmesi görülmektedir.

İÇİNDEKİLER

13-1 Çözelti Türleri: Bazı Terimler
13-2 Çözelti Derişimleri
13-3 Moleküller Arası Kuvvetler ve Çözünme
13-4 Çözelti Oluşumu ve Denge
13-5 Gazların Çözünürlüğü
13-6 Çözeltilerin Buhar Basınçları
13-7 Osmotik Basınç
13-8 Elektrolit Olmayan Çözeltilerin Donma Noktası Alçalması ve Kaynama Noktası Yükselmesi
13-9 Elektrolit Çözeltiler
13-10 Kolloidal Karışımlar

Soğuk iklim bölgelerinde yaşayanlar, kışın otomobillerin soğutma sistemlerindeki suya antifiriz eklenmesi gerektiğini bilirler. Antifiriz-su karışımının donma noktası, saf suyun donma noktasından çok daha düşüktür. Bu bölümde bunun nedenini öğreneceğiz.

Vücudu susuz kalmış birinin vücut sıvısını yeniden dengelemek amacıyla damar içi enjeksiyon yapılırken saf su kullanılmaz. Bunun için, osmotik basınç değeri tam bilinen, yani belli derişimde çözünen içeren bir çözeltinin verilmesi gerekir. Bu bölümde bunların nedenlerinide öğreneceğiz.

Bütün bunlarla birlikte, çözelti derişimine bağlı bazı çözelti özelliklerini inceleyeceğiz. Üzerinde durulacak konular, çözeltinin tanımı, uygulamaları ve molekül düzeyinde açıklanması olacaktır.

13-1 Çözelti Türleri: Bazı Terimler

Bölüm 1 ve 4 de çözeltinin *homojen karışım* olduğunu öğrendik. Bir çözeltinin *homojen olarak* nitelendirilmesinin nedeni; çözelti bileşiminin ve özelliklerinin çözeltinin her yerinde aynı olmasıdır. Karışım olarak nitelendirilmesinin nedeni ise; değişen oranlarda iki ya da daha fazla bileşenden oluşmasıdır. Çözeltinin miktarca fazla olan kısmı ya da katı, sıvı, gaz gibi fiziksel halini belirleyen bileşeni **çözücü**, bu çözücü içinde çözünmüş olan diğer bileşeni ise **çözünen** olarak adlandırılır. *Derişik çözelti*, göreceli olarak daha fazla miktarda çözünen madde içerirken, *seyreltik çözelti* ise çok düşük oranda çözünen içerir. Suyun çözücü, sakkarozun (şeker kamışı) çözünen olduğu bir çözeltiyi göz önüne alalım. Buna göre, baklava şurubu derişik bir şeker çözeltisi iken, buna karşılık az şekerli çay, çok daha seyreltik bir şeker çözeltisidir.

En yaygın çözeltiler sıvı çözeltiler olmakla birlikte, katı ve gaz halinde çözeltiler de vardır. Örneğin, beş sentlik ABD parası %75 bakır ve %25 Ni içeren katı bir çözeltidir. Bir metalin çözücü olduğu katı çözeltilere *alaşım** denir. Çok karşılaşılan bazı çözeltiler Çizelge 13.1 de verilmiştir.

13-2 Çözelti Derişimi

Bölüm 4 ve 5 de, bir çözeltinin tam olarak tanımlanabilmesi için, o çözeltinin *derişiminin* bilinmesi gerektiğini görmüştük. ***Derişim***, verilen bir çözücü ya da çözeltide bulunan çözünen madde miktarının bir ölçüsüdür. Önceki bölümlerde derişim birimi olarak molarite üzerinde durmuştuk. Bu bölümde ise; derişimi, her biri farklı amaçlar için kullanılan değişik birimlerle tanımlayacağız.

Kütle Yüzdesi, Hacim Yüzdesi ve Kütle/Hacim Yüzdesi

5,00 g NaCl bileşiğini 95,00 g suda çözersek, 100,0 gramında *kütlece* %5,00 NaCl içeren bir çözelti elde ederiz. Kütlece yüzde birimi, endüstriyel kimya alanında sıklıkla kullanılır. Örneğin, %78 lik H_2SO_4 çözeltisinin, fosfat kayasına [$3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$] etkimesiyle, %46 lık H_3PO_4(suda) çözeltisinin oluşacağını söyleyebiliriz.

Sıvı hacimler kolaylıkla ölçülebildiğinden, bazı çözeltiler *hacim* yüzdesi temel alınarak hazırlanır. Örneğin, bir el kitabında donma noktası –15,6 °C olan ve metil alkol-su'dan oluşan bir antifiriz çözeltisi, hacimce % 25,0 CH_3OH içeren bir çözelti olarak verilmektedir. Böyle bir çözelti, 25,0 mL CH_3OH(s) ün suda çözülmesi ve toplam hacmin su ile 100,0 mL' ye tamamlanması ile hazırlanır.

ÇİZELGE 13.1 Bazı Yaygın Çözeltiler

Çözelti	Bileşenler
Gaz çözeltiler	
Hava	N_2, O_2 ve diğer gazlar
Doğal gaz	CH_4, C_2H_6 ve diğer gazlar
Sıvı çözeltiler	
Deniz suyu	H_2O, NaCl ve diğerleri
Sirke	H_2O, CH_3COOH (asetik asit)
Soda	H_2O, CO_2, $C_{12}H_{22}O_{11}$ (sakkaroz) ve diğerleri
Katı çözeltiler	
Sarı pirinç	Cu, Zn
Palladyum-Hidrojen	Pd, H_2

**Alaşım* terimi, kurşun ve kalayın iki fazlı katı bir karışımı olan ve lehim olarak bilinen bazı heterojen karışımlar için ya da eskiden civa ile karıştırılarak diş dolgularında kullanılan bir gümüş-kalay bileşiği olan Ag_3Sn gibi metaller arası bileşikler için de kullanılır.

Çözelti derişimini belirtmek için kullanılan bir başka yöntem de, çözünen *kütlesinin* ve çözelti *hacminin* verilmesidir. Örneğin, 100,0 mL çözeltide 0,9 g NaCl içeren sulu bir çözeltinin % 0,9 luk NaCl (*kütle/hacim*) çözeltisi olduğu söylenir. Bu derişim birimi tıpta ve eczacılıkla ilgili alanlarda yaygın olarak kullanılır.

Milyonda Bir (Kısım), Milyarda Bir (Kısım), Trilyonda Bir (Kısım)

Çözeltilerde bir bileşenin kütle ya da hacim yüzdesi çok küçük ise, çözelti derişimi genellikle başka birimlerle belirtilir. Örneğin, 1 mg/L lik bir çözeltide çözünenin miktarı yalnızca 0,001 g/L dir. Bu denli seyreltik bir çözeltinin yoğunluğu ile suyun yoğunluğu (1 g/mL) hemen hemen aynıdır. Bu nedenle, 1000 g çözeltide 0,001 g çözünen içeren (0,001 g çözünen/1000 g çözelti) bir çözeltinin derişimi ile, 1 000 000 g çözeltide 1 g çözünen içeren (1 g çözünen /1 000 000 g çözelti) bir çözeltinin derişimi aynıdır. Böyle bir çözeltinin derişimini *milyonda bir kısım* (**ppm**) şeklinde belirtmek daha doğrudur. Bir litre çözeltide sadece 1 μg çözünen madde içeren (1 μg çözünen/ L çözelti) bir çözelti demek 1000 mg çözeltide, 1×10^{-6} g çözünen (1×10^{-6} g çözünen/1000 mg çözelti) içeren veya 1×10^{9} g çözeltide 1,0 g çözünen (1,0 g çözünen/1×10^{9} g çözelti) içeren bir çözelti demektir. Bu durumda, bu çözeltideki çözünen derişimi *milyarda bir kısım* (**ppb**) şeklinde belirtilebilir. Eğer çözünenin derişimi 1 ng çözünen / L çözelti şeklinde ise, derişim *trilyonda bir kısım* (**ppt**) olarak verilir.

◀ Milyarda bir kısım: Bir insanın kafasında ortalama 10 000 saç kökü vardır. Yani; milyarda bir kısım, 100 000 insanda bulunan toplam saç kökünden bir tanesidir.

UNUTMAYINIZ

1 ppm = 1 mg/L, 1 ppb = 1 μg/L ve 1 ppt = 1 ng/L.

ppm, ppb gibi birimler çevre kirliliğine neden olan madde miktarlarını verirken çok sık kullanılmaları nedeniyle, kimyada kullanılan diğer birimlere göre daha çok bilinirler. Örneğin, bir içme suyunun niteliğine ilişkin bir raporda, içilebilir bir suda en fazla nitrat iyonu 45 ppm, yine en fazla karbon tetraklorür miktarı 0,5 ppb olarak belirtilir.

Mol Kesri ve Mol Yüzdesi

Buhar basıncı gibi bazı fiziksel özellikler ile çözelti derişimi arasındaki bağıntıları incelerken, bütün çözelti bileşenlerinin mol temeline dayalı bir birimle belirtilmesine gereksinim duyarız. Bu amaçla çözelti derişimi için mol kesri terimini kullanırız. Bir *i* bileşeninin ***mol kesri,*** bu bileşenin mol miktarının, çözeltideki toplam mol miktarına oranı olup x_i ile gösterilir. Çözeltideki bileşenlerden bir diğeri *j* ise, bu bileşenin mol kesri x_j *ile gösterilirken, diğer bileşenlerin mol kesirleri de benzer şekilde gösterilir.* Bu tanıma göre, bir çözelti bileşeninin mol kesri aşağıda gösterildiği gibi bulunur:

$$x_i = \frac{i \text{ bileşeninin miktarı (mol)}}{\text{tüm çözelti bileşenlerinin toplam miktarı (mol)}}$$

Bir çözeltideki bileşenlerin mol kesirleri toplamı daima 1 dir.

$$x_i + x_j + x_k + \ldots = 1$$

Çözelti bileşenlerinden birinin *mol yüzdesi,* mol kesirlerinin 100 ile çarpılmasıyla bulunur.

13-1 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Suyun mol kesrinin 0,5 olduğu bir mol'lük bir çözeltide kaç tane su molekülü bulunabilir?

Molarite

Bölüm 4 ve 5 de çözelti hacmi ve çözünen miktarı ile ilgili bir çevirme faktörü bulmak amacıyla, molarite kavramını ortaya atmış ve çeşitli stokiyometrik hesaplarda kullanmıştık. Molarite için aşağıdaki bağıntıyı vermiştik:

$$\text{molarite } (M) = \frac{\text{çözünen miktarı (mol)}}{\text{çözeltinin hacmi (L)}}$$

Molalite

20°C de kalibre edilmiş dereceli bir volumetrik balon kullanarak, 20°C sıcaklıkta bir çözelti hazırladığımızı ve sonra bu çözeltiyi 25°C ye ısıttığımızı düşünelim. Sıcaklık 20°C den 25°C ye yükseldiğinde, çözünen madde miktarı sabit kalmakla birlikte, çözeltinin hacminde küçük bir artış gözlenir (yaklaşık % 0,1). Bu durumda, çözünen maddenin litredeki mol sayısı, yani, molaritesi yaklaşık % 0,1 *azalır*. Molaritenin sıcaklığa bağlı olması, özel dikkat gerektiren hassas denemelerde sorun yaratır. Denemenin yapıldığı sıcaklığın, çözeltinin hazırlandığı sıcaklıktan farklı olması durumunda, kullanılan çözeltinin molaritesi, üzerinde yazan molarite değerinden farklı olacaktır. **Molalite (*m*)** ise sıcaklıktan *bağımsız* ve aynı zamanda seyreltik çözeltilerde mol kesri ile de orantılı olan bir derişim birimidir. Molalite, çözünenin mol sayısının, *çözücünün* (çözeltinin değil!) kg cinsinden miktarına bölünmesiyle elde edilir. Örneğin, 1,00 kg suda 1,00 mol üre, $CO(NH_2)_2$, çözündüğü zaman elde edilen üre çözeltisinin molalitesi 1,00 dir ve 1,00 *m* $CO(NH_2)_2$ çözeltisi şeklinde belirtilir. Molalite aşağıdaki bağıntı ile verilir:

▶ Çözücünün kilogramındaki mol sayısının ölçüsü olan molal birimler, çözücünün litresindeki mol sayısının ölçüsü olan molar birimlerin tersine, sıcaklıktan bağımsızdır.

$$\text{molalite } (m) = \frac{\text{çözünen miktarı (mol)}}{\text{çözücünün kütlesi (kg)}}$$

Örnek 13-1 de bir çözeltinin derişimi bir kaç farklı yolla hesaplanmıştır. Örnek 13-2 deki hesaplamalar biraz daha farklı olup, derişim birimlerinden biri (molarite) bir diğerine (mol kesri) dönüştürülmüştür.

ÖRNEK 13-1 Bir Çözelti Derişiminin Değişik Birimlerle Belirtilmesi

10,00 mL etanolün CH_3CH_2OH (d = 0,789 g/mL), suda çözülmesi ve çözelti hacminin su ile 100,0 mL ye tamamlanmasıyla, yoğunluğu 0,982 g/mL olan bir etanol-su çözeltisi hazırlanmıştır (Şekil 13-1). Bu çözeltideki etanolün derişimini (a) hacim yüzdesi, (b) kütle yüzdesi, (c) kütle/hacim yüzdesi, (d) mol kesri, (e) mol yüzdesi, (f) molarite (g) molalite cinsinden belirtiniz.

Analiz

Problemin her bir adımı için gerekli eşitlikler metin içinde verilmiştir. Derişimleri bu farklı birimlerle belirtmek, hacim yüzdesi, kütle yüzdesi, kütle/hacim yüzdesi, mol kesri, mol yüzdesi, molarite ve molalite birimleri arasındaki benzerlik ve farlılıkları gösterecektir.

Çözüm

(a) Etanolün hacim yüzdesi

$$\text{etanolün hacim yüzdesi} = \frac{10{,}00 \text{ mL etanol}}{100{,}0 \text{ mL çözelti}} \times \%100 = \%10{,}00$$

(b) Etanolün kütle yüzdesi

$$\text{etanolün kütlesi} = 10{,}00 \text{ mL etanol} \times \frac{0{,}789 \text{ g etanol}}{1{,}00 \text{ mL etanol}}$$

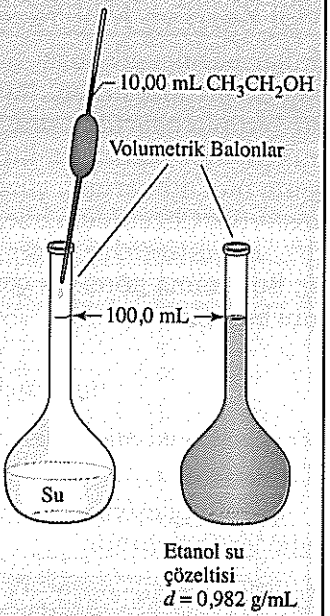
$$= 7{,}89 \text{ g etanol}$$

$$\text{çözeltinin kütlesi} = 100{,}0 \text{ mL çözl.} \times \frac{0{,}982 \text{ g soln}}{1{,}0 \text{ mL çözelti}} = 98{,}2 \text{ g çözl.}$$

$$\text{etanolün kütle yüzdesi} = \frac{7{,}89 \text{ g etanol}}{98{,}2 \text{ g çözelti}} \times \%100 = \%8{,}03$$

(c) Etanolün kütle/hacim yüzdesi

$$\text{etanolün kütle/hacim yüzdesi} = \frac{7{,}89 \text{ g etanol}}{100{,}0 \text{ mL çözelti}} \times \%100 = \%7{,}89$$



▲ ŞEKİL 13-1
Örnek 13-1 de açıklanan etil alkol-su çözeltisinin hazırlanışı
İçinde bir miktar su bulunan ölçülü balona 10,00 mL CH_3CH_2OH eklenir. Çözelti karıştırılır ve toplam hacim su ile 100,0 mL ye tamamlanır.

(d) Etanolün mol kesri
(b) de bulunan etanolün kütlesi mole dönüştürülür.

$$?\ \text{mol } CH_3CH_2OH = 7{,}89\ \text{g } CH_3CH_2OH \times \frac{1\ \text{mol } CH_3CH_2OH}{46{,}07\ \text{g } CH_3CH_2OH}$$
$$= 0{,}171\ \text{mol } CH_3CH_2OH$$

100,0 mL çözeltide bulunan suyun kütlesi hesaplanır.

$$98{,}2\ \text{g çözelti} - 7{,}89\ \text{g etanol} = 90{,}3\ \text{g su}$$

Suyun kütlesi mol sayısına dönüştürülür.

$$?\ \text{mol } H_2O = 90{,}3\ \text{g } H_2O \times \frac{1\ \text{mol } H_2O}{18{,}02\ \text{g } H_2O} = 5{,}01\ \text{mol } H_2O$$

$$x_{CH_3CH_2OH} = \frac{0{,}171\ \text{mol } CH_3CH_2OH}{0{,}171\ \text{mol } CH_3CH_2OH + 5{,}01\ \text{mol } H_2O} = \frac{0{,}171}{5{,}18} = 0{,}0330$$

(e) Etanolün mol yüzdesi

$$C_2H_5OH\text{ın mol yüzdesi} = x_{C_2H_5OH} \times \%\ 100 = 0{,}0330 \times \%100 = \%3{,}30$$

(f) Etanolün molaritesi
(d) de bulunan etanolün mol sayısı çözelti hacmına bölünür, 100,0 mL = 0,1000 L.

$$\text{molarite} = \frac{0{,}171\ \text{mol } CH_3CH_2OH}{0{,}1000\ \text{L çözelti}} = 1{,}71\ \text{M } CH_3CH_2OH$$

(g) Etanolün molalitesi
Öncelikle (d) de bulunan 100 mL çözeltideki suyun kütlesi kg birimine çevrilir.

$$?\ \text{kg } H_2O = 90{,}3\ \text{g } H_2O \times \frac{1\ \text{kg } H_2O}{1000\ \text{g } H_2O} = 0{,}0903\ \text{kg } H_2O$$

Bu sonuç, (d) de bulunan C_2H_5OHın mol sayısı ile birlikte kullanılarak molalite bulunur.

$$\text{molarite} = \frac{0{,}171\ \text{mol } CH_3CH_2OH}{0{,}0903\ \text{kg } H_2O} = 1{,}89\ m\ CH_3CH_2OH$$

Değerlendirme

Aynı çözelti için, hacim yüzdesi, kütle yüzdesi ve kütle/ hacim yüzdesi aynı olmak zorunda değildir. Molaritenin çözelti hacmine, molalitenin ise çözücü kütlesine bağlı olması nedeniyle molarite ve molalitenin değeri de aynı olmayabilir.

ALIŞTIRMA A: Hacimce % 20,0 lik etanol çözeltisinin yoğunluğu 0,977g/mL dir. Örnek 13-1 deki verileri kullanarak çözeltideki etanolün kütlece yüzdesini hesaplayınız.

ALIŞTIRMA B: 11,3 mL CH_3OH (d = 0,793 g/ mL) suda çözülerek, yoğunluğu 0,980 g/mL olan 75,0 mL lik bir çözelti hazırlanıyor. Bu çözeltinin derişimini **(a)** suyun mol kesri; **(b)** CH_3OHın molaritesi; **(c)** CH_3OHın molalitesi cinsinden hesaplayınız.

ÖRNEK 13-2 Molaritenin Mol Kesrine Dönüştürülmesi

Laboratuvarda kullanılan NH_3(suda) ün molaritesi 14,8 M ve yoğunluğu 0,8980 g/mL dir. Bu çözeltide x_{NH_3} nedir?

Analiz

Bu problemde çözelti hacmi verilmemiştir. Bu bize hesaplamalarımızda dilediğimiz sabit bir hacim seçme olanağı sağlar. Hesaplamalar için uygun hacim 1 litredir. Çözüm için, amonyak ve suyun 1 litre çözeltideki mol sayılarını belirlememiz gerekir.

Çözüm

Molarite tanımını kullanarak NH_3 ün mol sayısı bulunur.

$$NH_3 \text{ ün kütlesi} = 1{,}00\ \text{L} \times \frac{14{,}8\ \text{mol } NH_3}{1\ \text{L}} = 14{,}8\ \text{mol } NH_3$$

H_2O molünü bulmak için, çözelti yoğunluğu kullanılarak, öncelikle çözeltinin kütlesi belirlenir.

$$\text{çözelt. kütlesi} = 1000{,}0\ \text{mL soln} \times \frac{0{,}8980\ \text{g çözelti}}{1{,}0\ \text{mL çözelti}} = 898{,}0\ \text{g çözl.}$$

Daha sonra, NH_3 ün molü ve mol kütlesi kullanılarak NH_3 ün kütlesi bulunur.

$$NH_3 \text{ ün kütlesi} = 14{,}8\ \text{mol } NH_3 \times \frac{17{,}03\ \text{g } NH_3}{1\ \text{mol } NH_3} = 252\ \text{g } NH_3$$

Çözelti kütlesinden, NH_3 kütlesinin çıkarılmasıyla H_2O nun kütlesi belirlenir.

$$H_2O \text{ un kütlesi} = 898{,}0\ \text{g çözl.} - 252\ \text{g } NH_3 = 646\ \text{g } H_2O$$

Bulunan bu değerin, suyun mol kütlesinin tersi ile çarpılması, H_2O nun molünü verir.

$$H_2O \text{ un mol sayısı} = 646\ \text{g } H_2O \times \frac{1\ \text{mol } H_2O}{18{,}02\ \text{g } H_2O} = 35{,}8\ \text{mol } H_2O$$

NH_3 ün mol sayısının, çözeltideki NH_3 ve H_2O nun toplam mol sayısına bölünmesiyle, NH_3 ün mol kesri; x_{NH_3} bulunur.

$$x_{NH_3} = \frac{14{,}8\ \text{mol } NH_3}{14{,}8\ \text{mol } NH_3 + 35{,}8\ \text{mol } H_2O} = 0{,}292$$

Değerlendirme

Çözelti derişimlerine ilişkin tanımlamaları kullanarak derişim birimlerini birbirine dönüştürebiliriz. Bu yöntem, kimyacılar tarafından sıklıkla kullanılır.

ALIŞTIRMA A: Kütlece %16,00 lık gliserin, $[HOCH_2CH(OH)CH_2OH]$ çözeltisinin yoğunluğu 1,037 g /mL dir. Gliserinin bu çözeltideki mol kesrini bulunuz.

ALIŞTIRMA B: Kütlece %10,00 sakkaroz, $C_{12}H_{22}O_{11}$, içeren bir sulu çözeltinin yoğunluğu 1,040 g/mL dir. Bu çözeltinin **(a)** molaritesi; **(b)** molalitesi; **(c)** çözeltideki $C_{12}H_{22}O_{11}$ in mol kesri nedir?

13-2 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Kesim 13-2 de tanımlanan derişim birimlerinden hangileri sıcaklığa bağlı, hangileri değildir? Açıklayınız.

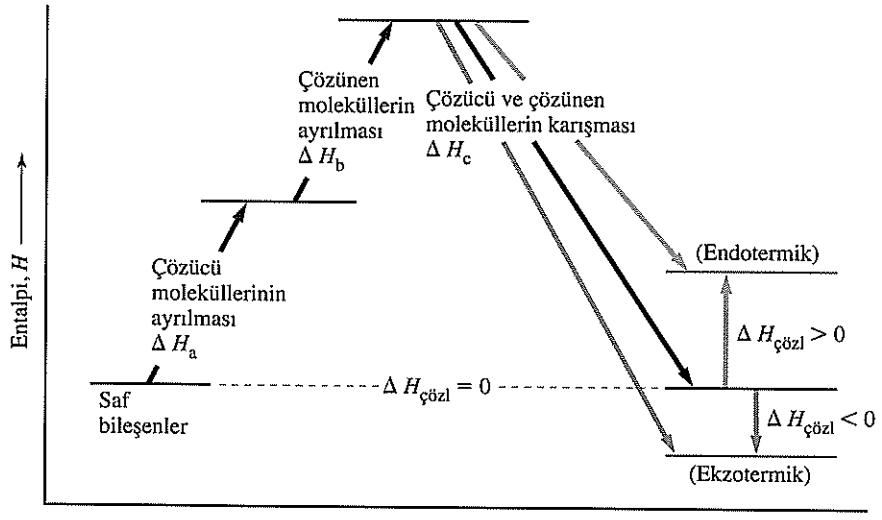
13-3 Moleküller Arası Kuvvetler ve Çözünme

Bir otomobilin yakıt deposuna çok az miktarda su bile girse, motor ateşlenmeyecektir. Su benzinde çözünmüş olsaydı, böyle bir sorun ortaya çıkmayacaktı. Su neden benzinle çözelti oluşturmaz? Bir işlem sırasındaki enerji alışverişlerini inceleyerek çoğu kez bu işlemin yürüyüp yürüyemeyeceğini anlayabiliriz. Bu yaklaşım, bazı maddelerin neden karışarak çözelti verdiklerini, bazılarının ise neden karışmadıklarını, yani çözelti oluşturmadıklarını anlamamıza yardım eder. Bu kesimde moleküllerin çözelti içindeki davranışları ve özellikle de moleküller arası kuvvetler ve bu kuvvetlerin çözünme işlemi için gerekli enerji değişimlerine etkileri üzerinde durulacaktır.

Çözelti Entalpisi

Bazı çözeltilerin oluşumu sırasında çevreye ısı verilirken, bazı durumlarda da çevreden ısı alınır. Çözelti entalpisi, $\Delta H_{\text{çözl}}$ denen bu ısı değişimi Şekil 7-6 daki gibi basit bir kalorimetreyle kolayca ölçülebilir. Ancak, neden bazı çözelti oluşumları ekzotermik, bazıları ise endotermiktir?

Şimdi çözelti oluşumunu üç basamaklı bir işlem gibi düşünelim ve $\Delta H_{\text{çözl}}$ kavramını irdeleyelim. İlk basamakta, çözücü molekülleri çözünen



▲ ŞEKİL 13-2
Çözelti oluşumunda entalpi değişimi
Çözünme olayı, çözünen ve çözücü moleküllerinin karışma basamağındaki entalpi değişiminin büyüklüğüne bağlı olarak, $\Delta H_{çözl} = 0$ (siyah ok), endotermik (mavi ok), ekzotermik (kırmızı ok) olabilir.

moleküllerine yer açmak üzere birbirlerinden ayrılmalıdır. Çözücü molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerini yenmek, bir miktar enerji gerektirir. Sonuç olarak, bu basamak endotermik olup; $\Delta H > 0$ *dır.* İkinci basamakta, çözünen moleküllerinin birbirlerinden uzaklaşmaları gerekir. Bu basamakta da enerji alınır ve aynı şekilde endotermiktir. Son olarak, birbirlerinden ayrılmış olan çözücü ve çözünen molekülleri arasında bir çekim oluşur. Bu çekim, molekülleri birbirlerine yaklaştırır ve dışarıya enerji verilir. Bu adım ekzotermik olup; $\Delta H < 0$ dır. İşte çözünme entalpisi, $\Delta H_{çözl}$, yukarıda tanımlanan bu üç entalpi değişiminin toplamına eşittir ve bunların bağıl değerlerine göre pozitif (endotermik) ya da negatif (ekzotermik) olabilir. Bu üç aşamalı işlem eşitlik (13.1) ve Şekil 13-2 de özetlenmiştir.

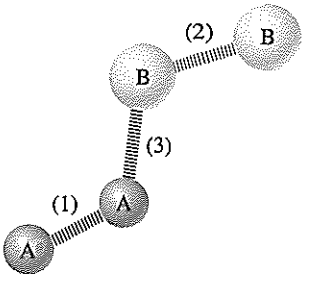
(a)	saf çözücü	⟶	çözücü moleküllerinin ayırılması	$\Delta H_a > 0$
(b)	saf çözünen	⟶	çözünen moleküllerin ayırılması	$\Delta H_b > 0$
(c)	ayırılmış çözücü ve çözünen molekülleri	⟶	çözelti	$\Delta H_c < 0$
	Toplam:		saf çözücü + saf çözünen ⟶ çözelti	

$$\Delta H_{çözl.} = \Delta H_a + \Delta H_b + \Delta H_c \qquad (13.1)$$

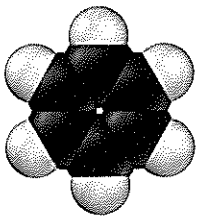
Karışımlarda Moleküller Arası Kuvvetler

(13.1) eşitliğinden anlaşılabileceği gibi, $\Delta H_{çözl}$ nin büyüklüğü ve işareti ΔH_a, ΔH_b ve ΔH_c nin değerlerine bağlıdır. Bu değerler ise, Şekil 13-3 de gösterildiği gibi, moleküller arasındaki *üç* tür çekim kuvvetinin büyüklüğüne bağlıdır. Moleküller arasındaki bu çekim kuvvetlerinin bağıl büyüklükleri için dört olasılık aşağıda açıklanmıştır.

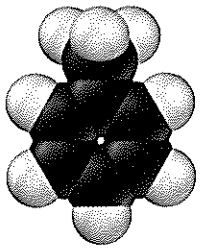
1. Şekil 13-3 de gösterilen moleküller arası çekim kuvvetleri aynı türden ve eşit büyüklükte ise, çözünen ve çözücü molekülleri gelişi güzel karışır. Bunun sonucunda bir homojen karışım ya da çözelti oluşur. Bu tür çözeltilerin özellikleri genellikle saf bileşenlerinin özelliklerine bakılarak öngörülebildiği için, böyle çözeltilere **ideal çözeltiler** denir. İdeal çözeltilerin oluşumu sırasında toplam entalpide değişim gözlenmez ve $\Delta H_{çözl} = 0$ dır. Bu, (13.1) eşitliğindeki ΔH_c de-



▲ ŞEKİL 13-3
Bir çözeltideki moleküller arası kuvvetler
Kesikli çizgilerle gösterilen moleküller arası çekim kuvvetleri; (1) Çözücü molekülleri, A–A; (2) Çözünen molekülleri, B-B; ve (3) Çözücü ve çözünen molekülleri, A–B arasındadır.



(a)

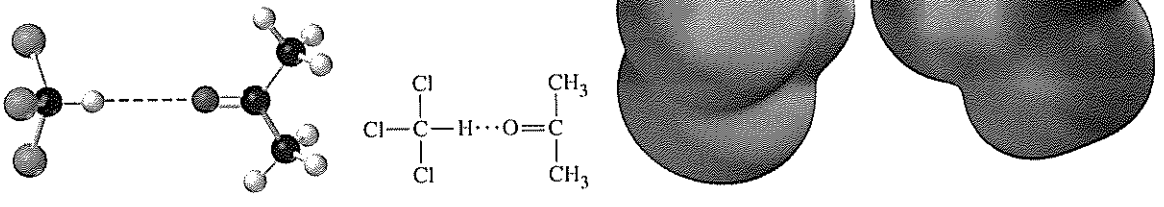


(b)

▲ ŞEKİL 13-4
İdeale yakın bir çözeltinin iki bileşeni
(a) Toluendeki $-CH_3$ grubunu, düzlemsel benzen halkası üzerinde küçük bir "tümsek" olarak düşünebiliriz. **(b)** Benzer molekül yapısına sahip bileşikler, benzer moleküller arası çekim kuvvetine sahiptirler.

ğerinin, ΔH_a ve ΔH_b nin büyüklükleri toplamına eşit ve zıt işaretlisi olduğu anlamına gelir. Sıvı hidrokarbonların çoğunun karışımları bu tanımlamaya uyar (Şekil 13-4).

2. Farklı moleküller arasındaki çekim kuvvetleri, aynı tür moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinden *fazla* ise, yine çözelti oluşur. Ancak, genellikle bu tür çözeltilerin özellikleri önceden öngörülemez ve bu tür çözeltilere *ideal olmayan çözeltiler* adı verilir. Çözücü ve çözünen molekülleri arası etkileşimlerden açığa çıkan ısı (ΔH_c), çözücü ve çözünen moleküllerinin ayrılması için soğurulan ısıdan ($\Delta H_a + \Delta H_b$) daha büyüktür. Bu durumda çözünme işlemi ekzotermiktir ($\Delta H_{çözl} < 0$). Aseton ve kloroformdan oluşan bir çözelti, bu tanımlamaya uygun bir çözeltidir. Şekil 13-5 de görüldüğü gibi, bu iki tür molekül arasında zayıf hidrojen bağı oluşur. Ancak, her iki saf sıvının molekülleri kendi aralarında hidrojen bağı oluşturamazlar.*
3. Çözünen ve çözücü molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri, aynı tür moleküller arasındaki kuvvetten *biraz zayıfsa* yine tam karışma olur ve yine *ideal olmayan çözelti* oluşur. Çözeltinin entalpisi saf bileşenlerinkinden daha büyüktür ve çözelti oluşumu *endotermikdir.* Bu tür davranış apolar bir sıvı olan karbon disülfür (CS_2) ile polar bir sıvı olan aseton karışımında gözlenir. Böyle bir karışımda, aseton molekülleri diğer aseton molekülleri tarafından dipol-dipol etkileşimleri yoluyla çekilir ve bu nedenle aseton molekülleri, karbon disülfür (CS_2) molekülleri yerine, diğer aseton moleküllerine yakın olmayı yeğlerler. Bir çözelti oluşum sürecinin endotermik olmakla birlikte, nasıl gerçekleşebileceğine ilişkin olası açıklama ilerde (sayfa 567) yapılacaktır.
4. Son olarak, eğer farklı moleküller arası çekim kuvvetleri, benzer moleküller arası çekim kuvvetlerinden *çok küçükse,* bileşenler ayrılmış durumda bulunur ve bir *heterojen karışım* oluşur. Önemli bir çözünme olmaz. Bir su ve oktan (benzinin bir bileşeni) karışımında, su molekülleri arasındaki kuvvetli hidrojen bağları bu molekülleri kümeler halinde bir arada tutar. Apolar oktan molekülleri, su molekülleri arasındaki güçlü çekim kuvvetlerini yenemez ve iki sıvı birbiri ile karışamaz. Böylece, bu bölümün başında sorduğumuz, suyun benzin içinde ya da benzinin su içinde neden çözünmediği sorusunu yanıtlamış olduk.



▲ ŞEKİL 13-5
Farklı moleküller arasındaki kuvvetler ideal olmayan bir çözelti oluşumuna yol açar
Bu moleküller arasındaki etkileşimler üç farklı gösterimle verilmiştir: top ve çubuk, çizgi gösterimi ve elektrostatik potansiyel haritaları. $CHCl_3$ (kloroform) ve $(CH_3)_2CO$ (aseton) molekülleri arasındaki hidrojen bağları, benzer moleküller arasındakinden daha büyük çekim kuvveti oluşturur.

*Çoğu durumda, C atomlarına bağlı H atomları hidrojen bağı oluşumuna katılamaz. Ancak $CHCl_3$ gibi bir moleküldeki üç Cl atomunun C-H bağındaki elektronlar üzerinde güçlü bir elektron çekme etkisi vardır (μ = 1,01 D). Böylece H atomu, $(CH_3)_2CO$ nun O atomu üzerindeki ortaklanmamış elektron çiftlerine doğru çekilir (Diğer $CHCl_3$ molekülündeki Cl atomlarına doğru çekme olmaz).

Bundan önceki paragraflarda tanımlanan dört durumu; "benzer benzeri çözer" olarak özetleyebiliriz. Yani; benzer molekül yapısındaki bileşikler, benzer moleküller arası kuvvetlere sahiptirler ve birbiri içinde çözünürler. Birbirinden farklı yapıda olan bileşiklerin çözelti oluşturması olası değildir. Birçok durumda bileşiklerin yapılarının bazı kısımları benzer, bazı kısımları farklı olabilir. Bu durumda, hangi kısmının daha önemli olduğu sorusu ortaya çıkar. Bu durumu Örnek 13-3 de inceleyeceğiz.

◀ "Benzer benzeri çözer" ilkesini anımsayınız.

ÖRNEK 13-3 Moleküller Arası Kuvvetlerden Faydalanarak Çözelti Oluşumunun Öngörülmesi

Aşağıdaki karışımların çözelti oluşturup oluşturamayacağını ve oluşacak çözeltinin ideal çözelti olup olmayacağını öngörünüz. (a) Etil alkol, CH_3CH_2OH, ve su (b) heksan, $CH_3(CH_2)_4CH_3$ ve oktan, $CH_3(CH_2)_6CH_3$ hidrokarbonları (c) oktanol, $CH_3(CH_2)_6CH_2OH$ ve su.

Analiz

İdeal ya da ideale yakın çözeltilerin çok yaygın olmadığını anımsayınız. Bu tür çözeltilerin oluşabilmesi için çözücü ve çözünen yapılarının oldukça benzer olması gerekir.

(a) Suyu H—OH olarak düşündüğümüzde, etil alkolün su ile benzer yapıda olduğunu görürüz (CH_3CH_2— grubu sudaki H— atomlarından biri ile yer değiştirmiştir). İki molekül de önemli bir moleküller arası kuvvet olan hidrojen bağı oluşturarak bir araya gelir. Ancak, beklenileceği gibi benzer ve farklı moleküller arasındaki hidrojen bağlarının gücü farklıdır.

(b) Heksanda karbon zinciri altı, oktanda sekiz atom uzunluğundadır. İki molekül de oldukça apolardır. Saf sıvılarında ve çözetilerindeki moleküller arası çekim kuvvetleri (dağılım türü) benzerdir.

(c) İlk bakışta bu durumun, H—OH ın bir H atomu ile hidrokarbon gruplarının yer değiştirdiği (a) seçeneğindeki durum ile benzerlik gösterdiği düşünülebilir. Fakat burada karbon zinciri *sekiz* atomludur. Bu uzun karbon zinciri, oktanolün fiziksel özelliğinin belirlenmesinde uçtaki ¬OH grubundan daha belirleyicidir. Bu açıdan bakıldığında, oktanol ve su oldukça *farklıdır*.

Çözüm

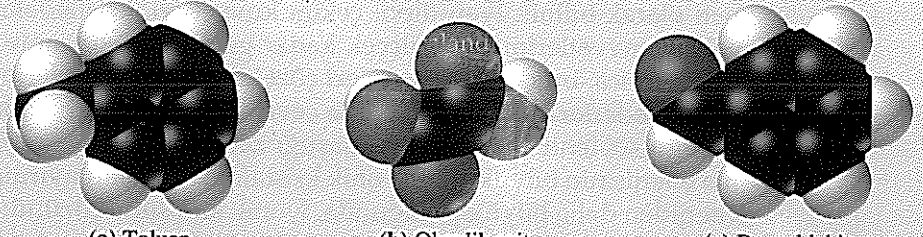
(a) Etil alkol ve suyun ideal olmayan bir çözelti oluşturmasını bekleriz.
(b) İdeale yakın bir çözelti oluşmasını bekleriz.
(c) Çözelti oluşumu beklenmez.

Değerlendirme

Bu tür problemlerin çözümü için, molekül yapılarının ve moleküller arası kuvvetlerin çok iyi kavranmış olması gerekir. "Benzer benzeri çözer" ilkesini anımsayınız.

(c) için verdiğimiz yanıtta, oktanolün su ile bir çözelti oluşturamayacağını öngördük. Bununla birlikte, alkoller, örneğin butil alkol, $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH$, suda sınırlı oranda çözünür (100 gram suda 9 gram). Alkollerin sudaki çözünürlüğü, hidrokarbon zincir uzunluklarının dördün üzerine çıkmasıyla belirgin bir hızla düşer.

ALIŞTIRMA A: Aşağıdaki organik bileşiklerden hangisinin suda çözünmesini beklersiniz? Açıklayınız.



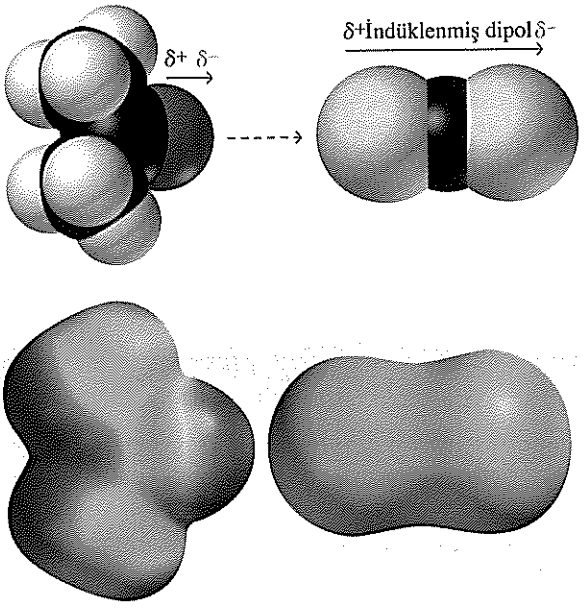
(a) Toluen **(b)** Okzalik asit **(c)** Benzaldehit

ALIŞTIRMA B: Katı iyot, suda mı, karbon tetraklorürde mi çok fazla çözünür? Açıklayınız.

13-1 MERAK EDİYORSANIZ...

Karbon disülfür ve aseton karışımındaki moleküller arası kuvvetlerin niteliği nedir?

Karbon disülfür polar olmayan bir moleküldür ve saf karbon disülfür bileşiğinde moleküller arası kuvvetler, sadece zayıf London dağılım kuvvetleri olup, bileşik uçucu bir sıvıdır. Aseton polar bir moleküldür ve saf asetonda moleküller arasında güçlü dipol-dipol etkileşimleri vardır, uçuculuğu karbon disülfüre göre daha azdır. Asetonun karbon disülfür içindeki bir çözeltisinde, aseton moleküllerinin dipolleri karbon disülfür moleküllerini polarize ederek, *dipol-indüklenmiş dipol* etkileşimlerinin ortaya çıkmasına neden olur.

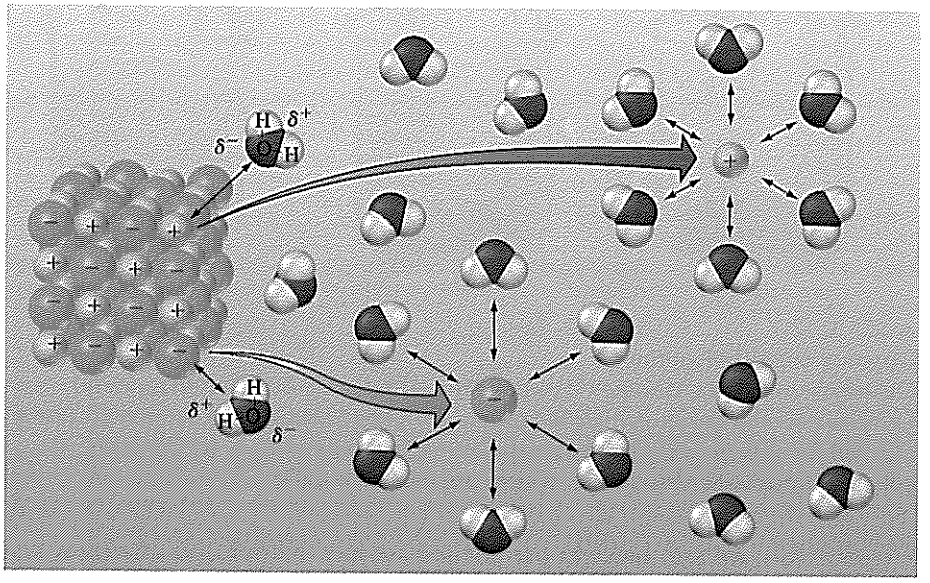


Aseton ve karbon disülfür arasındaki dipol-indüklenmiş dipol kuvvetleri, aseton molekülleri arasındaki dipol-dipol etkileşimlerinden daha zayıftır. Bu durum, aseton moleküllerinin, bu çözeltideki kararlılıklarının, saf asetondaki aseton moleküllerine göre daha düşük olmasına yol açar. Sonuç olarak, aseton-karbon disülfür çözeltileri, ideal olmayan çözeltilerdir.

İyonik Çözeltilerin Oluşumu

İyonik bileşiklerin sulu çözeltilerinin oluşumundaki enerji değişimlerini kavrayabilmek için, Şekil 13-6 yı göz önüne alalım. Burada, su dipolleri, kristal yüzeyindeki iyonların çevresinde kümelenmiş olarak görülmektedir. Su dipollerinin negatif uçları pozitif iyonlara doğru yönlenirken, pozitif uçları da negatif iyonlara doğru yönlenmiştir. Bir iyon ve bir dipol arasındaki bu etkileşim, moleküller arası bir etkileşim olup, iyon-dipol kuvveti olarak bilinir. İyon-dipol çekim kuvvetleri, kristaldeki iyonlar arası çekim kuvvetlerini yenebilecek kadar güçlü ise, çözünme olayı gerçekleşir. Ayrıca, bu çekim kuvvetleri çözelti içinde de etkilerini sürdürmeye devam ederler. Su molekülleri ile çevresi sarılmış bir iyonun, *hidratlaşmış* olduğu söylenir. İyonlar hidratlaştığı zaman enerji *açığa çıkar*. Hidratlaşma enerjisinin büyüklüğü, iyonik kristaldeki iyonları ayırmak için gerekli enerjiden daha büyük olduğunda, iyonik katı suda çözünür.

İyonik bir katının çözünmesini, *kuramsal* olarak üç-basamaklı bir işlem olarak tanımlayabiliriz. Bir mol iyonik katıyı ayırarak birbirinden bağımsız iyonlar haline getirmek endotermik bir işlem olup, burada gereken enerji örgü enerjisinin *negatif* değerine eşittir. Daha sonraki iki basamak, ayrılmış katyonların ve anyonların hidratlaşma basamaklarıdır ve bu sıra-



▲ ŞEKİL 13-6
İyonik bir kristalin suda çözünmesi
Çözünmenin temelini iyonik kristal yüzeyinin su dipolleri tarafından sarılması ve çözeltide hidratlaşmış iyonların oluşumuna dayanır.

da dışarıya enerji verilir. Aşağıda NaCl örneği üzerinde gösterildiği gibi, çözeltinin entalpisi, bu üç basamağın ΔH değerlerinin toplamına eşittir.

◀ Bölüm 12-7 de örgü enerjisini irdelemiştik.

$$NaCl(k) \longrightarrow Na^+(g) + Cl^-(g) \quad \Delta H_1 = (-\text{NaCl ün örgü enerjisi}) > 0$$

$$Na^+(g) \xrightarrow{H_2O} Na^+(suda) \quad \Delta H_2 = (Na^+ \text{ un hidratlaşma enerjisi}) < 0$$

$$Cl^-(g) \xrightarrow{H_2O} Cl^-(suda) \quad \Delta H_3 = (Cl^- \text{ ün hidratlaşma enerjisi}) < 0$$

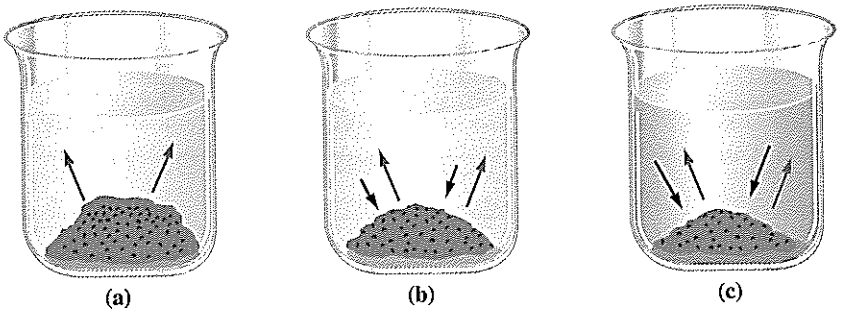
$$NaCl(k) \xrightarrow{H_2O} Na^+(suda) + Cl^-(suda) \quad \Delta H_{çözl} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 \approx +5 \text{ kJ/mol}$$

Sodyum klorürün suda çözünmesi *endotermik*tir. Aynı şekilde, çözünebilir iyonik bileşiklerin büyük çoğunluğu da (yaklaşık %95 i) endotermik olarak çözünür. Bu olay endotermik olduğuna göre, NaCl suda nasıl çözünür? Normalde, entalpideki artış nedeniyle, endotermik bir işlemin gerçekleşmemesi beklenir. NaCl, gerçekten suda çözündüğüne göre bu olayı etkileyen başka bir faktör olmalıdır. Gerçekte, bir işlemin *kendiliğinden* oluşup oluşmayacağını belirleyebilmek için dikkate alınması gereken *iki* faktör vardır. Bunlardan biri entalpi değişimi, diğeri ise, ileride incelenecek olan *entropi*dir. *Entropi*, atom, iyon ve molekül gibi mikroskopik taneciklerin, olabildiğince düzensiz bir şekilde dağılma eğilimlerinin bir ölçüsüdür. Saf NaCl(k) ve H_2O(s) ile kıyaslandığında NaCl(suda) olduğundan mikroskopik tanecikler çok daha düzensiz bir şekilde dağılmışlardır. Tanecik dağılımındaki bu düzensizlik, yani; entropideki artış, çözelti oluşumu sırasında entalpideki +5 kJ/mol lük artışla dengelenir. Özet olarak, çözelti oluşumu için öngörülen üç basamaklı süreç ekzotermik ise, çözünmenin gerçekleşmesini zaten bekleriz. Ancak $\Delta H_{çözl}$ değeri çok büyük olmadıkça, endotermik bir çözünme süreci için de benzer şekilde bir çözelti oluşumu beklemeliyiz.

◀ Endotermik bir işlemin kendiliğinden yürüyemeyeceği yaygın yanlış kanılardan biridir.

13-4 Çözelti Oluşumu ve Denge

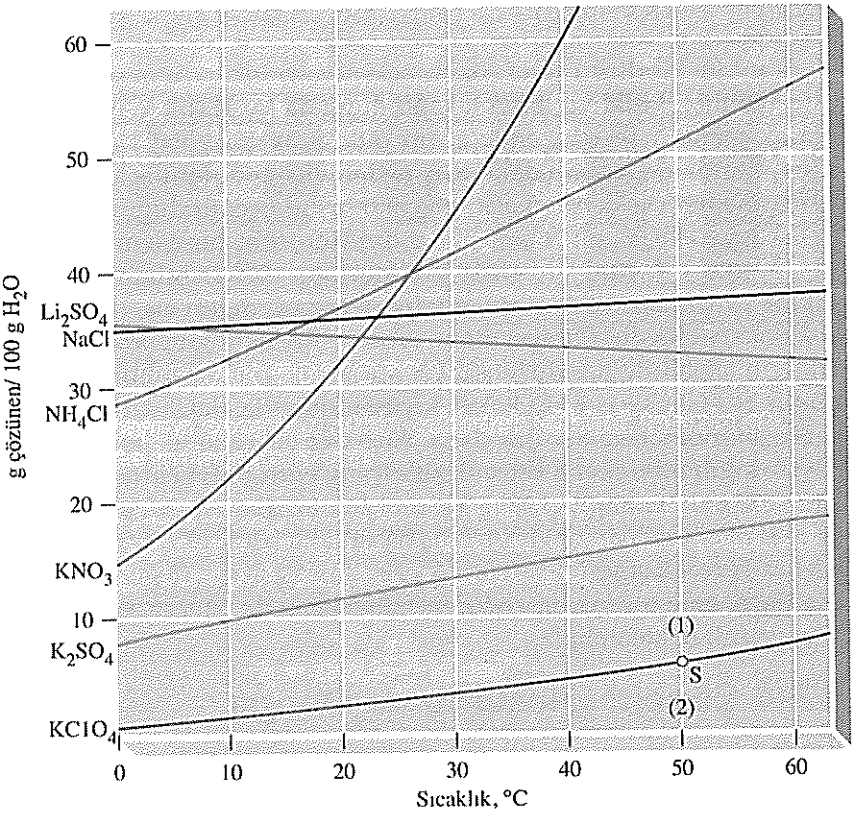
Bir önceki kesimde, çözeltiler oluşurken molekül (mikroskopik) düzeyinde neler olduğunu açıklamıştık. Bu kesimde, çözelti oluşumunu gözlemlerimize dayanarak, yani; makroskopik bakış açısına göre açıklayacağız.



▲ ŞEKİL 13-7
Doymuş çözelti oluşumu
Okların uzunlukları çözünme (↑) ve çökelme (↓) hızlarını simgelemektedir. **(a)** Çözücü içerisine çözünen madde konulur konulmaz başlangıçta sadece çözünme olur. **(b)** Bir süre sonra çökelme (kristallenme) hızı belirginleşir. **(c)** Çözünme ve çökelme hızları eşit olduğunda, çözelti doymuş hale gelir.

Şekil 13-7 de sıvı haldeki bir çözücü ile katı haldeki bir çözünen karıştırıldığında neler olduğu görülmektedir. Başlangıçta, yalnızca çözünme gerçekleşir, ancak kısa sürede çözünmenin tersi olan çökelme (kristalenme) işlemi giderek önem kazanır ve çözünmüş olan bazı atom, iyon ve moleküller, çözünmeden önceki hallerine geri dönerler. Çözünme ve çökelme aynı hızla gerçekleşmeye başladığı anda, çözelti dinamik bir dengeye erişir ve çözeltideki çözünen miktarı sabit kalır. Bu tür çözeltiler **doymuş çözelti,** doymuş çözeltinin derişimi ise, o çözünenin verilen çözücüdeki **çözünürlüğü** olarak adlandırılır. Çözünürlük sıcaklıkla değişir ve çözünürlük-sıcaklık ilişkisini gösteren eğriye *çözünürlük eğrisi* denir. Bazı çözünürlük eğrileri Şekil 13-8 de verilmiştir.

Bir çözelti hazırlarken, doymuş bir çözeltide bulunması gereken çözünenden daha az miktarda bir çözünen ile işleme başlarsak, çözünenin tamamı çözünür ve bir **doymamış çözelti oluşur.** Diğer yandan, belli bir sıcaklıkta doymuş bir çözelti hazırladığımızı ve sonra sıcaklığı, çözünürlü-



▶ ŞEKİL 13-8
Bazı tuzların sudaki çözünürlüklerinin sıcaklıkla değişimi
Çözünürlük; molarite, kütle yüzdesi ya da şekilde görüldüğü gibi 100 g H_2O da çözünenin gram cinsinden miktarı gibi, farklı şekillerde tanımlanabilir. Burada $KClO_4$ örneğinde gösterildiği gibi, herbir çözünürlük eğrisi üzerindeki doymuş çözeltileri gösterir. Eğrinin üzerinde kalan (1) bölgesi aşırı doymuş, eğrinin altındaki (2) bölgesi doymamış çözeltilere karşılık gelir.

ğün daha az olduğu bir değere getirdiğimizi (genellikle sıcaklık düşürülür) varsayalım. Bu durumda, genellikle çözünenin fazlası çöker. Fakat bazen de hiç bir çökelme olmaz ve çözeltide çözünmüş bulunan madde miktarı, doymuş çözeltide çözünmesi gerekenden fazla olur. Bu tür çözeltilere **aşırı doymuş çözeltiler** denir. Aşırı doymuş çözeltiler kararsızdır ve içine birkaç çözünen kristali eklendiğinde, eklenen kristaller çekirdek görevi görür ve fazladan çözünmüş olan kısım kritallenmeye başlar. Şekil 13-8 de, doymamış ve aşırı doymuş çözeltilerin çözünürlük eğrileri verilmiştir.

Çözünürlüğün Sıcaklığa Bağımlılığı

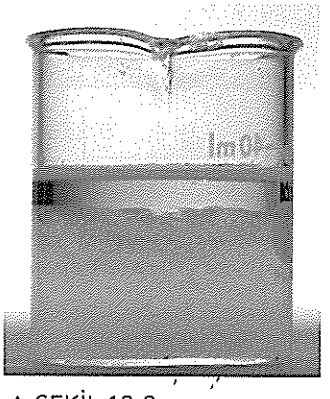
Genel olarak, iyonik bileşiklerin (yaklaşık %95 inin) çözünürlüğü sıcaklıkla *artar*. Ancak, SO_3^{2-}, SO_4^{2-}, AsO_4^{3-} ve PO_4^{3-} anyonlarını içeren bileşikler bu genellemenin dışında kalma eğilimi gösterirler.

Bölüm 15 de öğreneceğimiz *Le Châtelier ilkesi* olarak bilinen bir kurama dayanarak, sıcaklık ve basınç gibi değişkenlerle denge koşullarında oluşturulabilecek değişimleri önceden kestirebileceğiz. Bu ilkeye göre, denge konumunda bulunan bir sisteme ısı verilirse, ısı soğuran yani endotermik tepkime uyarılır. Diğer bir deyişle, $\Delta H_{\text{çözl}} > 0$ olduğunda, sıcaklık artışı çözünme işlemini uyarır ve çözünenin çözünürlüğü *artar*. Buna karşılık, $\Delta H_{\text{çözl}} < 0$ (ekzotermik) ise, sıcaklık artışı ile çözünürlük *azalır*. Bu durumda, çökelme (kristallenme) endotermik olup, çözünme işleminden daha baskındır.

Bununla birlikte, sıcaklığın çözünürlüğe etkisi ile $\Delta H_{\text{çözl}}$ nin işareti arasındaki ilişki konusunda uygulamada dikkatli olmamız gerekir. Sıcaklık artışı ile çözünürlükteki artışı ya da azalmayı gösteren $\Delta H_{\text{çözl}}$ nin aldığı değer, doygunluk sınırına yakın bir çözeltide çok küçük bir miktarda maddenin çözünmesiyle ilişkili olarak aldığı değerdir. Bazı durumlarda, saf çözücüye çözünen eklendiğinde gözlenen sıcaklık etkisi beklenenden çok farklı olabilir. Örneğin, NaOH in suda çözünmesi sırasında sıcaklıkta önemli bir artış olur ve bu *bir ekzotermik* olaydır. Buna göre, çözelti sıcaklığı artırıldıkça NaOH in çözünürlüğünün azalması beklenir. Oysa gerçekte, sıcaklık arttıkça NaOH in sudaki çözünürlüğü de *artar*. Çünkü, doygunluğa çok yakın bir NaOH çözeltisine az bir miktar NaOH daha eklenirse, ısı *soğurulur*, ısı açığa çıkmaz.*

Ayrımsal Kristallendirme

Kimyasal tepkimelerle sentezlenen bileşikler genellikle saf değildirler. Ancak, katı maddelerin çoğunun çözünürlüğünün sıcaklıkla artması, saflaştırmanın temelini oluşturan basit bir yöntem sağlar. Genellikle, saf olmayan maddeler büyük oranda istenilen bileşiği içermekle birlikte, küçük oranda da safsızlık içerirler. Hem bileşiğin, hem de safsızlıkların belli bir çözücüde çözünebildiği, yüksek sıcaklıkta, derişik bir çözelti hazırladığımızı varsayalım. Ardından, çözeltiyi soğumaya bırakalım. Düşük sıcaklıklarda çözelti, istenen bileşik yönünden doygun hale gelir. Bu durumda, bileşiğin fazlası kristallenirken, sıcaklık safsızlıkların kristallenmesi için hala çok yüksek olduğundan, safsızlıklar çözeltide kalır.† Bir katıyı saflaştırmak için uygulanan bu yönteme **ayrımsal kristallendirme** ya da **yeniden kristallendirme** denir. Ayrımsal kristallendirmeye Şekil 13-9 da örnek verilmiştir. Örnek 13-4, ayrımsal kristallendirmede çözünürlük eğrilerinin nasıl kullanıldığını göstermektedir.



▲ ŞEKİL 13-9
KNO_3 tuzun yeniden kristallenmesi
Renksiz KNO_3 kristalleri, safsızlık olarak bulunan KNO_3 ve $CuSO_4$ sulu çözeltisinden ayrılır. Çözeltinin mavi rengi çözeltide kalan Cu^{2+} den kaynaklanır.

*25°C civarında doymuş NaOH (suda) çözeltisi ile dengede olan katı madde, $NaOH \cdot H_2O(k)$ dur. Aslında burada tartıştığımız, bu hidratın çözünürlüğünün, sıcaklığa bağlılığıdır.

†Bu genel bir durum olmakla birlikte, bazen bir ya da daha fazla safsızlık, yeniden kristallenen madde ile birlikte katı bir çözelti oluşturabilir. Böyle durumlarda basit saflaştırma yöntemi olarak kullanılan yeniden kristallendirme sonuç vermez.

ÖRNEK 13-4 Ayrımsal Kristallendirmede Çözünürlük Verilerinden Yararlanılması

60 °C deki 200,0 g suda 95 g NH_4Cl tuzunun çözünmesiyle bir çözelti hazırlanmıştır. **(a)** Çözelti 20 °C ye kadar soğutulduğunda yeniden kristallenen NH_4Cl miktarı nedir? **(b)** NH_4Cl verimini nasıl arttırabilirsiniz?

Analiz

Problemi çözebilmemiz için NH_4Cl tuzunun 20 °C deki ve 60 °C deki çözünürlüklerini bilmemiz gerekir. Bunun için bazı tuzların çözünürlüklerinin sıcaklıkla değişimini gösteren Şekil 13-8 deki verilerden yararlanabiliriz.

Çözüm

(a) Şekil 13-8 den NH_4Cl ün 20 °C daki çözünürlüğünün 37 g NH_4Cl/100 g H_2O olduğunu görüyoruz. 20 °C de doymuş çözeltideki NH_4Cl miktarı,

$$200{,}0\ \text{g}\ H_2O \times \frac{37\ \text{g}\ NH_4Cl}{100\ \text{g}\ H_2O} = 74\ \text{g}\ NH_4Cl$$

Yeniden kristallenen NH_4Cl miktarı 95-74 = 21 g NH_4Cl dir.

(b) (a) daki NH_4Cl tuzunun kristallendirme verimi oldukça düşüktür (95 gramın 21 gramı yani %22 dir). Bunu şöyle artırabiliriz: (1) 60 °C deki çözelti derişik olmasına karşın, doymuş değildir. Şekil 13-8 den yararlanarak, 60 °C de doymuş bir çözeltinin 55 g NH_4Cl / 100 g H_2O içerdiğini bulabiliriz. Görüldüğü gibi, 95 g NH_4Cl ile doymuş bir çözelti hazırlamak için 200,0 g dan daha az suya gereksinim vardır. 20 °C de küçük bir miktardaki doymuş çözelti **(a)** dakinden daha az NH_4Cl içerecek ve yeniden kristallendirmede elde edilen NH_4Cl miktarı daha fazla olacaktır. (2) Çözeltiyi 20 °C ye soğutmak yerine 0 °C ye soğutabiliriz. NH_4Cl ün 0 °C deki çözünürlüğü 20 °C dekinden daha azdır ve daha fazla NH_4Cl yeniden kristallenebilir. (3) Diğer bir olasılık ise, 60 °C deki bir çözelti ile başlamak yerine, daha yüksek sıcaklıktaki, örneğin, 100 °C ye yakın bir sıcaklıktaki çözeltiden başlamaktır. Bu durumda, doymuş bir çözelti için gereken suyun miktarı 60 °C dekinden daha az olacaktır. Seçenek (1) ve (3) de, koşulları değiştirerek, başlangıçta belirtilen miktardan farklı miktarlarda su kullanımı gerektiğine dikkat ediniz.

Değerlendirme

Çözücü hacmini ya da sıcaklığı arttırarak, çözünen tuzun miktarı arttırılabilir. Ayrımsal kristallendirmenin, safsızlık miktarının çok az olduğu ve çözünmesi istenen maddenin çözünürlüğünün sıcaklıkla hızlı bir şekilde arttığı koşullarda en iyi sonucu verdiğini unutmayınız.

ALIŞTIRMA A: Örnek 13-4 (b) de belirtilen (1) ve (2) numaralı öneriler uygulandığında ne kadar NH_4Cl elde edilir? [*İpucu:* Şekil 13-8 deki verileri kullanınız. 60 °C de 95 g NH_4Cl içeren doygun bir çözelti hazırlamak için ne kadar su gereklidir?]

ALIŞTIRMA B: Şekil 13-8 den yararlanarak, şu üç potasyum tuzunun çözünürlük eğrilerini inceleyiniz: $KClO_4$, K_2SO_4 ve KNO_3. Bu tuzları, 40 °C deki doygun çözeltileri 20 °C ye soğutulduğunda, yeniden kristallenme verimlerine göre en yüksekten en düşüğe doğru sıralayınız.

13-5 Gazların Çözünürlükleri

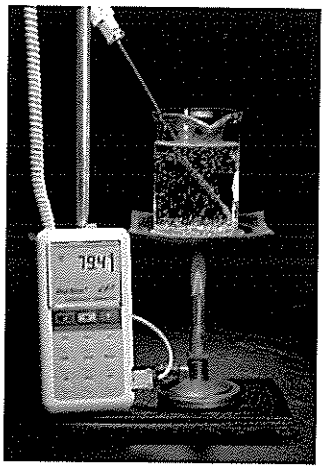
Yeni açılan bir kola şişesinden neden gaz çıkışı olur ve bu gaz çıkışı bir süre sonra neden durur? Bu tür soruları yanıtlayabilmek için gazların çözünürlüklerini incelememiz gerekir. Bu bölümde göreceğimiz gibi, gazların çözünürlüğü üzerine sıcaklığın etkisi, genellikle katılarınkinden farklıdır. Ayrıca, bir gazın basıncı da o gazın çözünürlüğünü önemli ölçüde etkiler.

Sıcaklığın Etkisi

Gazların çözücü içerisindeki çözünürlüklerine sıcaklığın etkisi ile ilgili, kapsamlı bir genelleştirme yapamayız. Ancak, çoğu gazın sudaki çözünürlüğü sıcaklık arttıkça *azalır*. Bu bilgi hava ve havanın başlıca bileşenleri olan $N_2(g)$ ve $O_2(g)$ için doğrudur (Şekil 13-10). Bu durum, pek çok balığın niçin yalnızca soğuk sularda yaşadığını açıklar. Ilık sularda balıklar için yeterli miktarda çözünmüş hava (oksijen) yoktur.

Gazların organik çözücülerdeki çözünürlükleri için, genellikle bu durumun tersi geçerli olup; yüksek sıcaklıklarda gazların çözünürlüğü artar.

Soy gazların sudaki çözünme davranışları daha karmaşıktır. Sıcaklık artışıyla her bir gazın çözünürlüğü azalsa da, belli bir sıcaklıkta minimum çözünürlüğe inildikten sonra, artan sıcaklıkla birlikte çözünürlük yeniden artmaya başlar. Örneğin, 1 atm basınçtaki helyumun sudaki çözünürlüğü 35 °C de minimuma ulaşır.



▲ ŞEKİL 13-10
Gazların çözünürlüğü üzerine sıcaklığın etkisi
Su, kaynama noktasının oldukça altındaki sıcaklıklarda bile ısıtıldığında, çözünen hava serbest kalır.

Basıncın Etkisi

Bir gazın bir sıvı içerisindeki çözünürlüğüne basıncın etkisi, sıcaklığın etkisinden çok daha fazladır. İngiliz kimyacı William Henry (1775-1836) bu gerçeği şöyle ifade etmiştir: *Bir gazın çözünürlüğü gaz basıncıyla doğru orantılı olarak artar.* Buna **Henry yasası** denir ve matematiksel olarak şöyle gösterilir:

$$C = k \times P_{gaz} \qquad (13.2)$$

Bu eşitlikte C; bir gazın belli bir çözücüde, sabit bir sıcaklıktaki çözünürlüğünü, P_{gaz}; çözelti üzerindeki gazın kısmi basıncını ve k; orantı sabitini belirtir. k orantı sabitinin değerini bulmak için gazın bilinen bir basınç ve sıcaklıktaki çözünürlüğünün ölçülmesi gerekir. Örneğin, $N_2(g)$ un 0 °C ve 1,00 atm de sudaki çözünürlüğü 23,54 mL/L dir. Buna göre, Henry yasası sabiti, k, aşağıdaki gibi bulunur.

$$k = \frac{C}{P_{gaz}} = \frac{23{,}54 \text{ mL } N_2/\text{L}}{1{,}00 \text{ atm}}$$

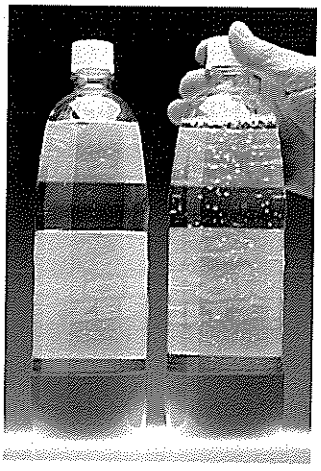
Şimdi $N_2(g)$ un çözünürlüğünü 100,0 mL N_2/L ye arttırmak istediğimizi düşünelim. Bunu yapmak için, Eşitlik (13.2) ye göre çözelti üzerindeki $N_2(g)$ basıncını arttırmamız gerekir. Yani,

$$P_{N_2} = \frac{C}{k} = \frac{100{,}0 \text{ mL } N_2/\text{L}}{(23{,}54 \text{ mL } N_2/\text{L})/1{,}00 \text{ atm}} = 4{,}25 \text{ atm}$$

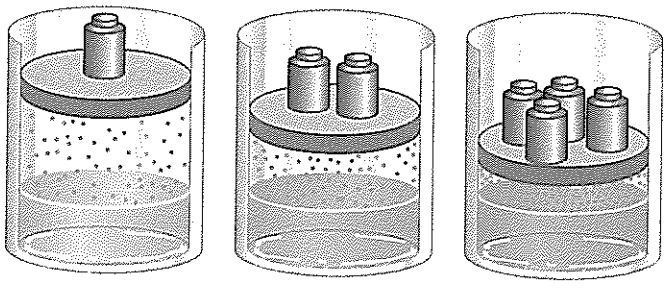
Bazen gaz çözünürlüğünü belirtmek için kullandığımız birimi, basınç değişimine bağlı olarak değiştirmemiz gerekebilir. Bu değişim Örnek 13-5 de gösterilmiştir.

Henry yasasını şöyle açıklayabiliriz: Doymuş bir çözeltide, gaz moleküllerinin çözeltiden buharlaşma ve çözeltiye yoğunlaşma hızları birbirine eşittir. Bu hızların her ikisi de birim hacimdeki molekül sayısına bağlıdır. Sistemdeki artan basınçla birlikte, gaz fazındaki birim hacimdeki molekül sayısı artarken (gaz basıncındaki yükselme nedeniyle), aynı şekilde çözeltideki birim hacimdeki molekül sayısı da (derişimdeki artış nedeniyle) artmalıdır. Bu durum Şekil 13-11 de gösterilmiştir.

Henry yasasının nesnel bir uygulamasını gazlı içeceklerde görebiliriz. Bu içeceklerde çözünen gaz karbon dioksittir ve içeceğin üzerindeki gaz basıncı ne kadar fazla ise, çözünen CO_2 oranı o kadar fazladır. Sodanın kapağı açıldığında bir miktar gaz çıkışı olur. Çözelti üzerindeki basınç kalktığında, çözünmüş CO_2 genellikle hızlı bir şekilde açığa çıkar ki, bu da köpürmeye neden olur. Köpüklü şaraplarda da çözünmüş CO_2 basınç altındadır. Ancak, soda, gazoz gibi içeceklere CO_2 sonradan eklenirken, köpüklü şaraplardaki CO_2, fermentasyon sonucu şişenin içinde kendiliğinden oluşur.



▲ Kapalı soda şişelerinde, soda suyu oldukça yüksek $CO_2(g)$ basıncı altındadır. Kapak açıldığında basınç hızla düşer ve $CO_2(g)$ in bir kısmı kabarcıklar halinde çözeltiden dışarıya doğru yayılır.



◀ ŞEKİL 13-11
Gazların çözünürlüğü üzerine basıncın etkisi
Çözünmüş gazın derişimi (renk koyuluğu ile belirtilmiştir), çözelti üzerindeki gaza uygulanan basınç (nokta yoğunluğu ile gösterilmiştir) ile orantılıdır.

ÖRNEK 13-5 Henry Yasasının Kullanılışı

0 °C de ve 1,00 atm oksijen basıncında, O_2 (g) nin sudaki çözünürlüğü 48,9 mL/L dir. O halde, O_2, havadaki normal kısmi basıncında yani 0,2095 atm'de ise, doymuş sulu çözeltideki O_2 nin molaritesi ne olur?

Analiz

Soruyu iki aşamada yanıtlayalım: (1) 0 °C ve 1 atm de O_2 nin doygun çözeltisinin molaritesini bulalım, (2) Soruyu çözmek için Henry yasasını uygulayalım.

Çözüm

P_{O_2} = 1 atm ve 0 °C de O_2 nin molaritesini hesaplayınız.

$$\text{molarite} = \frac{0{,}0489\ \text{L}\ O_2 \times \dfrac{1\ \text{mol}\ O_2}{22{,}4\ \text{L}\ O_2\ (\text{STP})}}{1\ \text{L çözelti}} = 2{,}18 \times 10^{-3}\ \text{M}\ O_2$$

Henry yasası sabitini bulunuz.

$$k = \frac{C}{P_{\text{gaz}}} = \frac{2{,}18 \times 10^{-3}\ \text{M}\ O_2}{1{,}00\ \text{atm}}$$

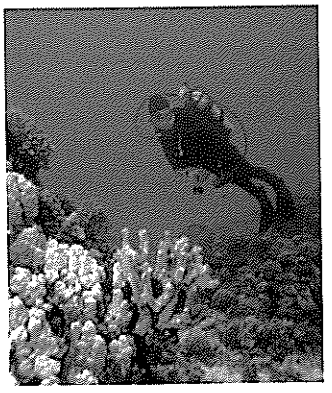
$$C = k \times P_{\text{gaz}} = \frac{2{,}18 \times 10^{-3}\ \text{M}\ O_2}{1{,}00\ \text{atm}} \times 0{,}2095\ \text{atm} = 4{,}57 \times 10^{-4}\ \text{M}\ O_2$$

Değerlendirme

Çözünen gaz çok düşük derişimlerde ise, bu tür çözeltiler ile ilgili soruları çözerken Henry yasasını kullanınız.

ALIŞTIRMA A: Örnek 13-5 deki verileri kullanarak, 0 °C de her 100 mL sinde 5,00 mg O_2 içerdiği bilinen bir sulu çözeltinin üzerindeki O_2 in kısmi basıncını bulunuz.

ALIŞTIRMA B: Bir el kitabında karbon monoksidin sudaki çözünürlüğü 0 °C ve 1 atm de 0,0354 mL CO/mL H_2O olarak verilmiştir. 0,0100 M'lik CO çözeltisi hazırlayabilmek için, çözelti üzerindeki CO(g) basıncı ne olmalıdır?



▲ Vurgunun ağrılı ve tehlikeli sonuçlarından korunmak için dalgıçların derinlerden yüzeye çok hızlı çıkmamaları gerekir.

Henry yasasına diğer bir örnek olarak, derin deniz dalgıçlığı verilebilir. Dalgıçların suyun altında nefes alabilmeleri için, yanlarında hava tüpü taşımaları ve su altında kaldıkları süre boyunca tüpteki bu basınçlı havayı solumaları gerekir. Ancak, yüksek basınçlı hava, kanda ve diğer vücut sıvılarında, normal basınçtaki havaya göre daha fazla çözünür. Dalgıç yüzeye döndüğünde, çözünmüş fazla N_2(g), vücut sıvılarından küçük kabarcıklar halinde salınır. Suyun yüzeyine çok çabuk çıkıldığında, N_2 kanın dışına doğru çok hızlı bir şekilde yayılır, bu da eklemlerde, kol ve bacaklarda şiddetli ağrıya neden olur ve sinir sistemini etkiler. "Vurgun" olarak nitelendirilen bu durumu önlemenin yolu, su altından yüzeye çok yavaş çıkmak, çıkış yolunda, belli basınçlarda belli süreler geçirmek ya da basınç odasında bir süre kalmaktır. Diğer etkili bir yol ise; dalma tüplerine helyum-oksijen karışımı doldurmaktır. Helyum kanda azottan daha az çözünür.

Henry yasası (eşitlik 13.2) yüksek basınçlarda ve gazın suda iyonlaşması ya da suyla tepkimeye girmesi durumunda geçerliliğini yitirir. Örneğin, 20 °C ve P_{HCl} = 1 atm de doygun bir HCl(suda) çözeltisi yaklaşık 20 M dır. Fakat 10 M HCl çözeltisi hazırlamak için, çözelti üzerindeki HCl basıncını P_{HCl} = 0,5 atm değerinde tutmaya gerek yoktur. Aynı şekilde, 1 M HCl çözeltisi hazırlamak için, çözelti üzerindeki HCl basıncının P_{HCl} = 0,05 atm olması gerekmez. Yaklaşık 1 M, HCl(g) in kokusu bile hissedilmez. Çünkü HCl molekülleri sulu çözeltilerde iyonlaşırlar ve seyreltik çözeltilerde HCl moleküllerinin neredeyse tümü iyonlaşmıştır.

$$HCl\ (g) \xrightarrow{H_2O} H^+(\text{suda}) + Cl^-(\text{suda})$$

Henry yasası yalnızca özdeş bir gaz molekülü ile, aynı gazın çözeltideki dengesi için geçerlidir.

13-3 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Henry yasası, HCl(g) in benzendeki (C_6H_6) çözeltisine, HCl(g) in sudaki çözeltisine göre daha iyi mi uygulanabilir? Eğer öyleyse, nedenini açıklayınız.

13-6 Çözeltilerin Buhar Basınçları

Bileşikleri birbirinden ayırmak kimyacıların çok sık karşılaştıkları bir sorundur. Bileşiklerin uçucu sıvılar olması durumunda, ayırma işlemi çoğunlukla *damıtma* yoluyla gerçekleştirilir. Damıtma işleminin yürüyüşünü anlayabilmemiz için, çözeltilerin buhar basınçları hakkında bilgi edinmemiz gerekir. Bu bilgi, aynı zamanda kaynama noktası, donma noktası ve osmotik basınç gibi diğer önemli çözelti özelliklerini anlama konusunda da bize yardımcı olacaktır.

Şimdi, çözücüsü A, çözüneni B olan iki bileşenli bir çözeltiyi ele alalım. Fransız kimyacı F. M. Raoult 1880 lerde, bir çözünenin, çözücünün buhar basıncını *düşürdüğünü* buldu. **Raoult yasasına** göre, ideal bir çözelti üzerindeki çözücü buhar tarafından uygulanan kısmi basınç P_A, verilen bir sıcaklıkta saf çözücünün buhar basıncı P_A° ile çözücünün çözeltideki mol kesrinin, (x_A), çarpımına eşittir. **Raoult yasası**'na göre:

$$P_A = x_A P_A^\circ \qquad (13.3)$$

Eşitlik (13.3) Raoult'un gözlemiyle ilişkilidir. Bu gözleme göre, çözünmüş haldeki çözünen, çözücünün buhar basıncını düşürür. $x_A + x_B = 1{,}00$ olduğuna göre, x_A değeri 1,00 den küçük olacağından P_A da, P_A° dan küçük olmalıdır. Tam olarak söylemek gerekirse, Raoult yasası sadece ideal çözeltiler ve çözeltilerin tüm uçucu bileşenleri için geçerlidir. Bununla birlikte, ideal olmayan *seyreltik* çözeltilerdeki *çözücüler* için bile (örneğin, $x_{\text{çözücü}} > 0{,}98$ olan çözeltilerde) çoğunlukla doğru sonuçlar verir. Raoult yasasını daha ayrıntılı inceleyebilmek için, daha önce sayfa 567'de kısaca tanımladığımız entropi kavramını bilmemiz gerekir. Bu konuda daha ayrıntılı bilgiler Kesim 19-3 de entropi konusunda daha fazla bilgi edindikten sonra verilecektir.

13-4 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Raoult yasasını farklı bir şekilde tanımlamak da olasıdır. Buna göre, bir çözeltideki çözücünün buhar basıncı düşme kesri, $(P^\circ_A - P_A)/P^\circ_A$, çözünenlerin mol kesrine yani x_B ye eşittir. Bu tanımlamanın eşitlik (13.3) ile aynı olduğunu gösteriniz.

Sıvı-Buhar Dengesi: İdeal Çözeltiler

Biraz sonra göreceğimiz 13–6 ve 13–7 örneklerindeki benzen–toluen çözeltisi için elde edilen sonuçlar, ve değişik mol kesirleri için elde edilen sonuçlarla birlikte, Şekil 13–12'de bir grafik halinde gösterilmiştir. Bu grafikte üç doğru, bir eğri olmak üzere dört bağıntı vardır.

Kırmızı çizgi, benzenin buhar basıncının çözelti bileşimiyle değişimini göstermektedir. Benzen-toluen çözeltisindeki benzen, Raoult yasasına uyduğundan, kırmızı çizgi $P_{benz} = x_{benz} P^\circ_{benz}$ eşitliği ile tanımlanabilir. Mavi çizgi, benzer şekilde çözelti bileşimi değişimiyle toluenin buhar basıncı değişimini göstermekte ve toluenin de Raoult yasasına uyduğunu belirtmektedir. Kesikli siyah çizgi, *toplam* buhar basıncının çözelti bileşimine göre değişimini verir. Bu kesikli siyah çizgi üzerindeki her bir basınç değeri, bu çizginin altında yer alan iki düz çizgi üzerindeki basınç değerlerinin toplamına eşittir. Örneğin, grafikte 3 ile gösterilen nokta, benzenin mol kesrinin; $x_{benz} = 0{,}500$ olduğu bir benzen-toluen çözeltisinin toplam buhar basıncını (nokta 1 + nokta 2) göstermektedir (bakınız Örnek 13-6).

ÖRNEK 13-6 İdeal Çözeltilerin Buhar Basınçlarının Bulunması

Saf benzen ve toluenin 25 °C de buhar basınçları sırasıyla 95,1 ve 28,4 mm Hg dır. Benzen ve toluenin her ikisinin de mol kesirlerinin 0,500 olduğu bir çözelti hazırlanmıştır. Benzen ve toluenin bu çözeltideki kısmi basınçları nedir? Toplam buhar basıncı nedir?

Analiz

Şekil 13-4 de gördüğümüz gibi, benzen-toluen çözeltilerinin ideal çözeltiler olması beklenir. Bu nedenle Raoult yasası, çözeltinin her iki bileşenine de uygulanabilir.

Çözüm

$$P_{benz} = x_{benz} P°_{benz} = 0{,}500 \times 95{,}1 \text{ mmHg} = 47{,}6 \text{ mmHg}$$
$$P_{tol} = x_{tol} P°_{benz} = 0{,}500 \times 28{,}4 \text{ mmHg} = 14{,}2 \text{ mmHg}$$
$$P_{toplam} = P_{benz} + P_{tol} = 47{,}6 \text{ mmHg} + 14{,}2 \text{ mmHg} = 61{,}8 \text{ mmHg}$$

Değerlendirme

Bu örnekte, verilen çözeltilerin ideal çözeltiler olduğunu kabul ettik ve bu nedenle Raoult yasasını uygulayabildik. Sonuçta, her bileşenin buhar basıncının diğer bileşen tarafından düşürüldüğünü gözledik.

ALIŞTIRMA A: Saf heksan ve pentanın 25 °C deki buhar basınçları sırasıyla 149,1 mmHg ve 508,5 mmHg dır. Heksan-pentan çözeltisinde heksanın mol kesri 0,750 ise, çözeltideki heksan ve pentanın buhar basınçları nedir? Çözeltinin toplam buhar basıncı nedir?

ALIŞTIRMA B: Eşit *kütlede* benzen; C_6H_6, ve toluen; C_7H_8, içeren bir çözeltideki benzen ve toluenin 25 °C deki kısmi buhar basınçlarını ve çözeltinin toplam buhar basıncını hesaplayınız. Örnek 13-6 da verilen buhar basıncı verilerini kullanınız.

ÖRNEK 13-7 Sıvı Çözeltisi ile Dengede olan Buhar Bileşiminin Hesaplanması

Örnek 13-6 daki benzen-toluen çözeltisiyle dengede olan buharın bileşimi nedir?

Analiz

Bu örnekte, benzen ve toluenin buhar fazındaki mol kesirleri sorulmaktadır. Örnek 13-6 dan saf benzen ve saf toluenin buhar basınçlarını biliyoruz. Kısmi buhar basınçlarını da hesapladığımıza göre, bu değerleri mol kesri tanımına uygulayabiliriz.

Çözüm

Kısmi basınçların her birinin toplam basınca oranı, bileşenlerin buhar fazındaki mol kesirleridir. Bu, (6.17) eşitliğinin diğer bir uygulamasıdır. Buharın mol kesri bileşimi,

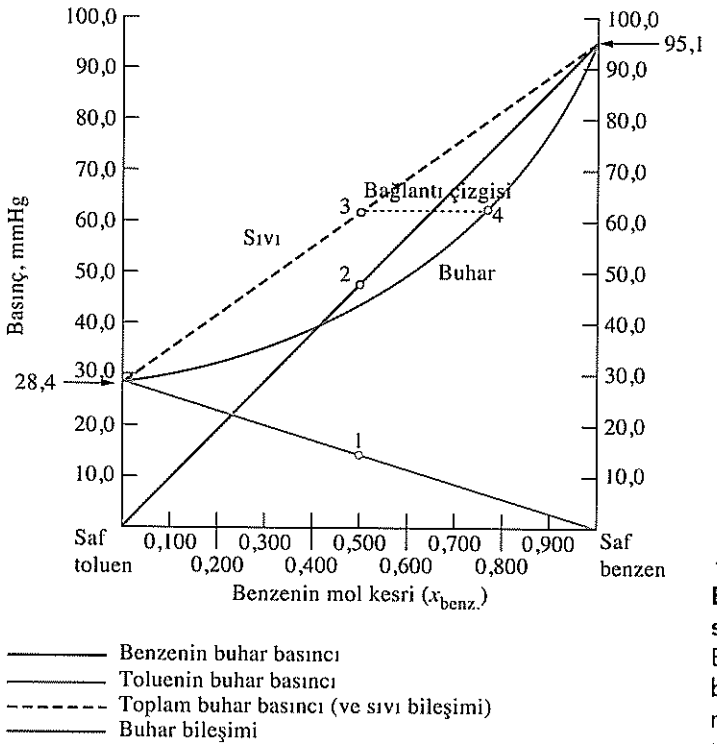
$$x_{benz} = \frac{P_{benz}}{P_{topl}} = \frac{47{,}6 \text{ mmHg}}{61{,}8 \text{ mmHg}} = 0{,}770$$
$$x_{tol} = \frac{P_{tol}}{P_{topl}} = \frac{14{,}2 \text{ mmHg}}{61{,}8 \text{ mmHg}} = 0{,}230$$

Değerlendirme

Benzenin sıvı fazdaki mol kesri 0,5 iken, buhar fazındaki mol kesri 0,770; toluenin ise sıvı fazdaki mol kesri 0,5, buhar fazındaki mol kesri 0,230 dur. Buhar bileşiminde mol kesirleri arasındaki bu farklılık, iki bileşenin buhar basınçlarındaki farklılıktan kaynaklanır. İleride tartışacağımız ayrımsal damıtmanın temeli buna dayanır.

ALIŞTIRMA A: Alıştırma 13-6A da tanımlanan heksan-pentan çözeltisi ile dengede olan buharın bileşimi nedir?

ALIŞTIRMA B: Alıştırma 14-6B de tanımlanan benzen-toluen çözeltisi ile dengede olan buharın bileşimi nedir?



◀ ŞEKİL 13-12
Benzen-toluen karışımlarının 25°C deki sıvı-buhar dengesi
Bu diyagramda kismi basınçlar ve toplam buhar basıncı, çözelti ve buhar bileşimlerinin fonksiyonu olarak çizilmiştir.

Örnek 13-7 de hesapladığımız gibi, benzenin mol kesrinin, x_{benz}= 0,500 olduğu bir çözelti ile dengede olan buhar fazı, benzence daha zengindir. Buhar fazında x_{benz}= 0,770 dir (4. nokta). 3 ve 4 noktalarını birleştiren çizgi, *bağlantı çizgisi* olarak adlandırılır. Bileşim aralığı boyunca bir sıra bağlantı çizgisi oluşturduğumuzu düşünelim. Bu bağlantı çizgilerinin buhar uçlarının birleştirilmesi, Şekil 13-12 deki yeşil eğriyi verir. Sıvı ve buhar eğrilerinin bağıl yerlerinden, iki bileşenli ideal çözeltiler için, *buhar fazının sıvı faza göre uçuculuğu yüksek bileşence daha zengin olduğunu* görürüz.

13-5 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Şekil 13-12 deki gibi bir diyagramda sıvı ve buhar eğrilerinin birbirine yaklaşarak, tek bir eğri oluşturduğu bir durumu tanımlayınız. Böyle bir durum olası mıdır?

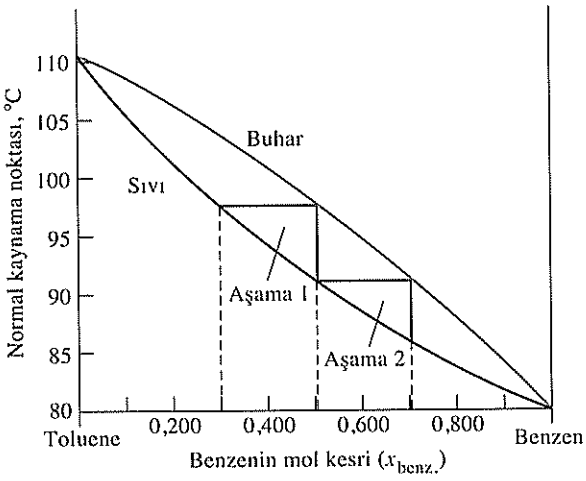
Ayrımsal Damıtma

Şimdi, benzen-toluen karışımındaki sıvı-buhar dengesine değişik bir açıdan bakalım. Buhar basınçlarını çözelti ve buhar bileşimlerinin bir fonksiyonu olarak grafiğe geçirmek yerine, çözeltinin *toplam* buhar basıncının 1 atm olduğu normal kaynama sıcaklıklarını, çözelti ve buhar bileşimlerinin bir fonksiyonu olarak çizelim. Elde edilecek grafik Şekil 13-13 te görülmektedir. Bu grafik, uçucu sıvıları birbirinden ayırmak için kullanılan **ayrımsal damıtma** yöntemini açıklamak için oldukça yararlıdır.

Grafiğin, toluenin kaynama noktasında (110,6 °C) başlayıp benzenin kaynama noktasında (80,0 °C) bittiğine dikkat ediniz. Bu durum Şekil 13-12 deki durumun tersidir. Ayrıca, Şekil 13-13 de buhar eğrisi, sıvı eğrisinin üstündeyken, Şekil 13-12 de bu eğri, sıvı eğrisinin altındadır.

Şekil 13-13 den görüldüğü üzere, x_{benz}= 0,30 olan benzen-toluen çözeltisi 98,6 °C de kaynar ve bu çözelti ile dengede bulunan buhar fazında benzenin mol kesri; x_{benz}= 0,51 dir. Şimdi, bu buharın bir kısmını alıp, yoğunlaşıp sıvı hale geleceği noktaya kadar soğuttuğumuzu düşünelim.

UNUTMAYINIZ
Buhar fazı daha uçucu bileşence, sıvıda olduğundan daha zengindir. Daha uçucu bileşen, buhar basıncı daha yüksek ya da kaynama noktası daha düşük olan bileşendir.



▶ ŞEKİL 13-13
Benzen-toluen karışımlarının 1 atm deki sıvı-buhar dengesi
Bu diyagramda, çözeltilerin normal kaynama noktaları, çözelti ve buhar bileşimlerinin fonksiyonu olarak çizilmiştir.

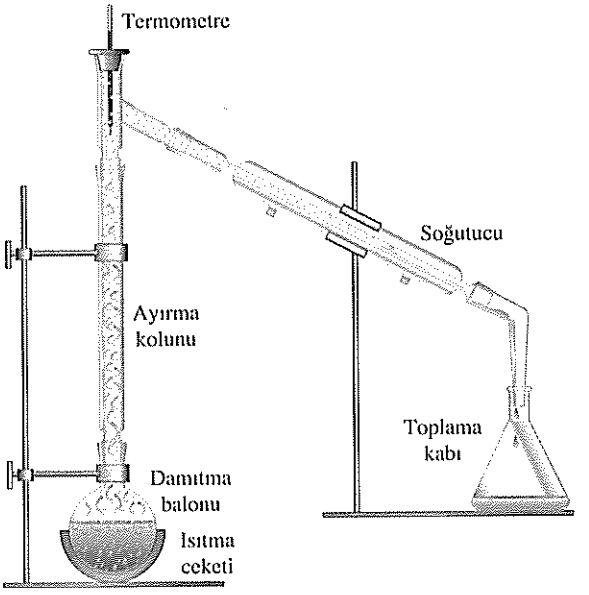
Bu yeni sıvıda x_{benz}= 0,51 olacaktır. Bu durum Şekil 13-13 deki 1. aşamaya karşılık gelir. Bu işlemi yinelerseniz, yani, x_{benz}= 0,51 olan çözeltiyi buharlaştırmaya ve buharı yoğunlaştırmaya devam ederseniz, 2. aşamanın sonunda elde edeceğiniz yeni sıvıda benzenin mol kesri x_{benz}= 0,71 olur. Bu işlem yinelendikçe, buhar giderek benzence zenginleşir. Şekil 13-14 de gösterildiği gibi, buharıyla dengede olan kaynayan çözeltiler, *ayırma kolonu* denilen uzun bir kolon boyunca dağılırlar. Bu kolonlarda denge sıcaklığı kolonun üst kısmında en düşük, alt kısmında ise en yüksek değerindedir. İşlem sırasında çözeltideki en uçucu bileşen buharlaşarak kolonun üst tarafına ulaşır ve oradan yoğunlaşarak ayrılır. Uçuculuğu en az olan bileşen ise kolonun alt tarafında yoğunlaşır. Petrol gibi çok sayıda uçucu bileşenden oluşan bir çözeltinin ayrımsal damıtması aynı şekilde gerçekleştirilir. Her bir bileşen kolonun üst kısmına ulaştıktan sonra, yoğunlaştırılarak geri kazanılır.



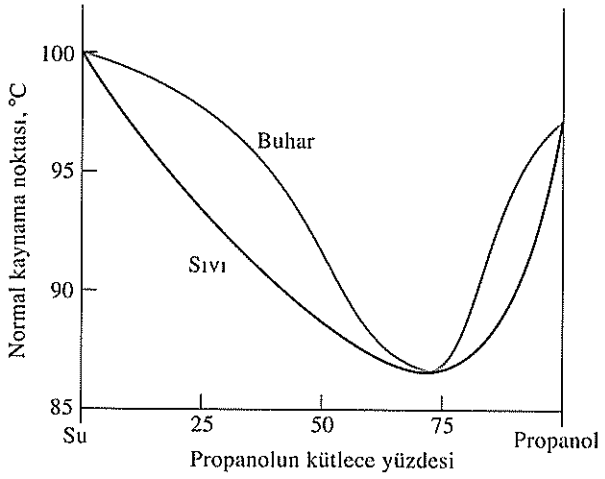
▲ Birçok endüstriyel işlemde ayrımsal damıtma kullanılmaktadır.

Sıvı-Buhar Dengesi: İdeal Olmayan Çözeltiler

İdeal olmayan çözeltiler için Şekil 13-12 deki gibi basit bir sıvı-buhar denge diyagramı çizemeyiz. Örneğin, aseton-kloroform çözeltilerinde buhar basınçları ideal çözeltiler için öngörülenden *daha düşük*, buna bağlı olarak kaynama noktaları *daha yüksektir*. Buna karşılık, aseton-karbon disülfür çözeltilerinde buhar basınçları beklenenden daha yüksek ve kaynama noktaları da daha düşüktür. Şekil 13-5 de, kloroform-aseton karışımlarında farklı moleküller arası çekim kuvvetlerinin, benzer moleküller ara-



▶ ŞEKİL 13-14
Ayrımsal damıtma
Ayırma (fraksiyonlama) kolonu; içine cam küreler ya da paslanmaz çelik helezonlar konularak paketlenir. Başlangıçta, balondan yukarıya yükselen buhar, kürelere ve helezonlara çarparak sıvı halde yoğunlaşır. Dolgu maddeleri ısındıkça, sıvı-buhar dengesi kolonun üst kısmına doğru ilerler. Kısa sürede sıvı-buhar dengesi kolon boyunca yerleşir, ancak, denge sıcaklığı kolonun alt kısmındaki en sıcak bölgeden kolonun üst tarafındaki en soğuk bölgeye doğru sürekli olarak değişir. Kolonun üst kısmına ulaşan buhar su soğutmalı bir yoğunlaştırıcı içinde sıvılaşır. Toplanan ilk damıntı (fraksiyon), en uçucu, yani; en düşük kaynama noktalı bileşendir. Daha sonraki fraksiyonlar daha az uçucu olan sıvılardır. Uçuculuğu en az olan (en yüksek kaynama noktalı) bileşenler kaynama balonunda kalırlar.



◀ ŞEKİL 13-15
Minimum kaynama noktalı azeotrop
Kütlece %71,69 $CH_3CH_2CH_2OH$ içeren propanol-sudan oluşan bir azeotropun kaynama noktası, diğer bütün bileşenlerinin kaynama noktalarından daha düşüktür. Propanol oranı % 71,69 dan *daha düşük* çözeltilerin ayrımsal damıtmasında son ürünler bir azeotrop ve su olurken, %71,69 dan *fazla* oranda propanol içeren çözeltiler için son ürün azeotrop ve propanoldür. İki durumda da, azeotrop soğutucudan toplanırken (Şekil 13-14), diğer bileşen balonda kalır.

sı çekim kuvvetlerinden daha büyük olduğunu görmüştük. Böyle çözeltilerde, çözelti bileşenlerinin buharlaşma eğilimlerinin azalmasını ve buhar basınçlarının beklenenden daha düşük olmasını beklemek normaldir. Aseton-karbon disülfür çözeltilerinde tersi bir durum beklenir: farklı moleküller arasındaki çekim kuvvetleri benzer moleküller arasındakinden daha zayıftır. Bu durum buharlaşma eğilimini arttırır ve gözlenen buhar basınçları, Raoult yasasına göre öngörülenden daha yüksek olur.

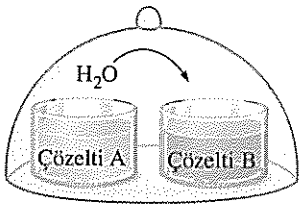
Eğer ideal çözeltiden sapmalar yeteri kadar büyükse, bazı çözeltilerin buhar basıncı–bileşim grafiklerinde, buhar basınçları bir maksimum ya da bir minimumdan geçer. Benzer şekilde, bu tür çözeltilerin kaynama noktası-bileşim grafiklerinde de kaynama noktaları, bir maksimum ya da bir minimumdan geçer. Bu maksimuma ya da minimuma karşılık gelen bileşime sahip çözeltiler sabit bir sıcaklıkta kaynarlar. Bu noktada, oluşan buhar fazın bileşimi ile sıvı faz bileşimi *aynıdır*. Böyle çözeltilere **azeotrop** denir. Şekil 13-15 de, minimum kaynama noktalı azeotrop oluşturan bir çözeltinin kaynama noktası diyagramı görülmektedir.

İyi bilinen azeotroplardan biri kütlece % 96,0 etanol (C_2H_5OH) ve % 4,0 sudan oluşur ve bu çözelti, 78,174 °C de kaynar. Saf etanolün kaynama noktası ise 78,3 °C dir. Seyreltik etanol-su çözeltileri azeotrop oluşturmak üzere damıtılabilir, ancak kalan suyun normal damıtma ile uzaklaştırılması olası değildir. Bu nedenle, laboratuvar ve endüstride kullanılan etanolün çoğu tam saf değil, ancak %96,0 lık C_2H_5OH dür. Mutlak, yani; %100 lük C_2H_5OH elde etmek için ise özel bazı işlemler gerekir.

13-7 Osmotik Basınç

Buraya kadar, öncelikli olarak uçucu bir çözücü ve uçucu bir çözünen içeren çözeltiler üzerinde durduk. Çözeltilerin bir diğer yaygın türü de, su gibi uçucu bir çözücü ile glukoz, sakkaroz ya da üre gibi *uçucu olmayan* türlerin oluşturduğu çözeltilerdir. Raoult yasası, böyle çözeltilerdeki çözücüler için de geçerlidir. Bu tür çözeltilerde de, çözünen tür, çözücünün buhar basıncını düşürür.

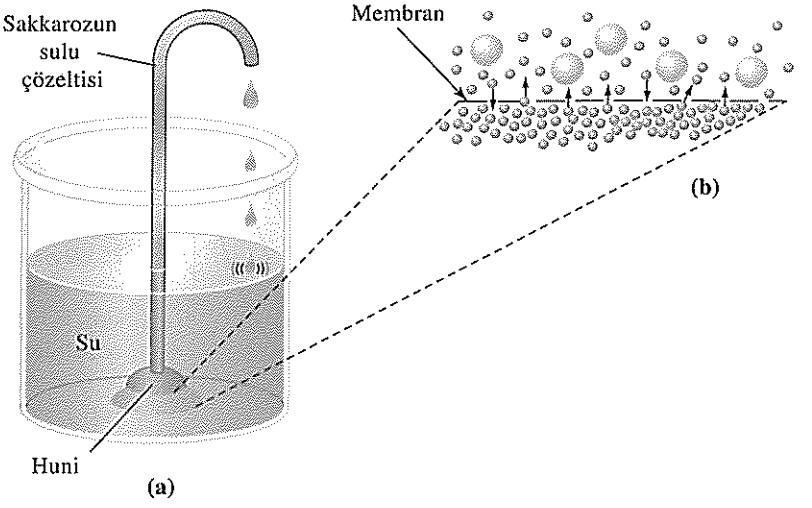
Şekil 13-16(a) da, aynı fanus altına konulmuş uçucu olmayan bir maddenin çözündüğü iki farklı derişimdeki sulu çözelti görülmektedir. Çözeltiler, A ve B olarak belirtilmiştir. Eğri ok, suyun A dan çıkarak buharlaştığını ve B de yoğunlaştığını göstermektedir. Bu olayı başlatan etken nedir? Bunun için, A nın üzerindeki suyun buhar basıncının, B nin üzerindekinden daha büyük olması gerekir. A çözeltisi daha seyreltik olduğundan burada suyun mol kesri daha yüksektir. Suyun bu aktarımı ne kadar sürer? A çözeltisi su kaybederek daha derişik duruma gelirken, B çözeltisi su alarak daha seyreltik duruma gelir. Suyun mol kesri iki çözeltide de eşit duruma gelince, H_2O moleküllerinin *net* aktarımı sona erer.



(a)


(b)

▲ ŞEKİL 13-16
Su buharının akış yönünün gözlenmesi
(a) Su, daha seyreltik olan (H_2O mol kesri daha fazla) çözeltiden daha derişik olan çözeltiye, buhar şeklinde geçer. **(b)** Havadaki su buharı, katı kalsiyum klorür heksahidrat, ($CaCl_2 \cdot 6H_2O$) üzerinde yoğunlaşır. Sıvı hale gelen su buharı, bir kısım katıyı çözer. Nihai sonuç ise, doymamış bir çözelti oluşumudur.



▲ ŞEKİL 13-17
Osmoz
(a) Su molekülleri membranın gözeneklerinden geçerek huni içinde bir basınç oluşturur. Bu basınç sakkaroz çözeltisinin seviyesinin yükselmesine, taşmasına ve su içine akmasına neden olur. Bir süre sonra, huni içindeki çözelti seyrelir ve beherdeki saf su, sakkaroz çözeltisine dönüşür. Membran ile ayrılan iki çözeltinin bileşimi yaklaşık eşit olduğunda sıvı akışı durur. **(b)** Membranın büyütülmüş enine kesitinde yarı-geçirgen özellikler görünmektedir: su molekülleri (küçük mavi küreler) membrandan serbestçe geçerken, sakkaroz molekülleri (büyük gri küreler) geçemez.

Şekil 13-16b'de görüldüğü gibi katı $CaCl_2 \cdot 6\ H_2O(k)$ açık havada bırakılırsa benzer bir olay gerçekleşir. Havadaki su buharı katı üzerinde yoğunlaşır ve katı çözünmeye başlar. Bu olaya *sulanma* denir. Bir katının sulanması için, havadaki su buharının kısmi basıncının, katının doygun sulu çözeltisi üzerindeki su buharı basıncından büyük olması gerekir. Bu olayın gerçekleşmesi için, belirli katılar için uygun bağıl nem koşulları gerekir. Örneğin bağıl nem %32 yi geçtiğinde $CaCl_2 \cdot 6\ H_2O$ sulanır (Odak 6: Yeryüzünün Atmosferi).

Yukarıda az önce açıkladığımız, çözücü moleküllerinin aktarımına ilişkin diğer bir örnek de Şekil 13-17 de verilmiştir. Ancak buradaki aktarım, buhar fazı üzerinden gerçekleşmez. Uzun, cam bir boru içerisinde bulunan sakkaroz (şeker) çözeltisi, yarı geçirgen bir membran (sadece suyu geçiren) ile saf sudan ayrılmıştır. Su molekülleri membrandan her iki tarafa da geçebilir. Ancak, saf sudaki su moleküllerinin derişimi, çözeltidekinden *fazla* olduğundan, *saf sudan* çözeltiye doğru *net* bir akış vardır. **Osmoz** adı verilen bu net akış, çözeltinin boru içindeki düzeyinin yükselmesine neden olur. Sakkaroz çözeltisinin derişimi ne kadar fazlaysa, çözeltinin boru içerisindeki yükselişi de o kadar fazla olacaktır.

▶ Yarı geçirgen membranlar, idrar kesesi, parşömen kağıdı veya sellofan gibi mikroskopla görülemeyecek kadar küçük gözenekler içeren malzemelerdir. Gözenekler yalnız çözücü moleküllerinin geçişine uygun olup, çözünen moleküllerini geçirmezler.

13-6 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Şekil 13-16(a) ve Şekil 13-17'de tanımlanan olaylar arasındaki benzerlik ve farklılıkları açıklayınız.

Sakkaroz çözeltisine basınç uygulanması, suyun membrandan çözeltiye olan net akışını yavaşlatır. Uygulanan basınç yeterince büyükse, suyun net akışı tümüyle durur. Osmotik akışı durdurmak için gereken basınca, çözeltinin **osmotik basıncı** denir. %20 lik bir sakkaroz çözeltisi için bu basınç, 15 atm kadardır. Osmotik basıncın büyüklüğü, sadece çözeltinin birim hacminde çözünen tanecik *sayısına* bağlı olup, çözünenin cinsine bağlı

değildir. Çözücünün cinsine *bağlı olmayıp*, yalnızca çözeltideki çözünen taneciklerinin derişimine bağlı olan bu tür özellikler, **sayısal özellikler (kolligatif özellikler)** olarak adlandırılır. Aşağıda verilen eşitlik, elektrolit olmayan *seyreltik* çözeltilerin osmotik basınçlarını hesaplamaya çok uygundur. Bu eşitlikte π, osmotik basıncı, R (0,08206 L atm mol^{-1} K^{-1}), gaz sabitini, T, Kelvin sıcaklığını gösterir. Çözünen miktarı n (mol olarak), çözeltinin hacmi (litre olarak) V ile belirtilir. Bu eşitliğin, ideal gaz yasası eşitliği ile olan benzerliğine dikkat ediniz. Burada yalnızca eşitlikteki terimlerin yerleri değişmiştir (13.4). Eşitlikteki n/V oranı çözeltinin *molaritesi* olup; M ile simgelenmiştir.

◀ İdeal çözeltiler için Raoult yasasıyla ifade edilen buhar basıncı düşmesi de sayısal bir özelliktir.

$$\pi V = nRT$$

$$\pi = \frac{n}{V}RT = M \times RT \qquad (13.4)$$

◀ Eşitlik (13.4) ün, elektrolit çözeltilere uyarlanması Kesim 13-9 da tartışılmaktadır.

Örnek 13-8 de hesaplanan 18 mm Hg basınç farkını ölçmek kolaydır. Bu basınç, 25 cm yüksekliğindeki bir çözeltinin basıncına karşılık gelir. Yani, çok seyreltik ya da yüksek mol kütleli çözünenlerin mol kütlelerinin belirlenmesinde osmotik basınç ölçümlerini kolaylıkla kullanabiliriz. Örnek 13-9, mol kütlesinin tayininde osmotik basınç ölçümlerinin nasıl kullanıldığını göstermektedir.

ÖRNEK 13-8 Osmotik Basıncın Hesaplanması

25°C de 0,0010 M $C_{12}H_{22}O_{11}$ (sakkaroz) çözeltisinin osmotik basıncı nedir?

Analiz

Burada verilen değerleri (13.4) eşitliğindeki yerlerine koymamız yeterlidir.

Çözüm

$$\pi = \frac{0{,}0010 \text{ mol} \times 0{,}08206 \text{ atm L mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{1 \text{ L}}$$

$$\pi = 0{,}024 \text{ atm } (18 \text{ mmHg})$$

Değerlendirme

Çok düşük derişimlerde bile ölçülebilir miktarda osmotik basınç vardır. Bu olgu, polimer ve biyopolimerlerin mol kütlelerinin ölçümünde kullanılmaktadır.

ALIŞTIRMA A: 125 mL sinde 1,50 g $C_{12}H_{22}O_{11}$ içeren bir sulu çözeltinin 25 °C deki osmotik basıncı nedir?

ALIŞTIRMA B: 25 °C de osmotik basıncı 0,015 atm olan 225 mL çözelti hazırlamak için kaç gram üre, $CO(NH_2)_2$, gerekir?

ÖRNEK 13-9 Osmotik Basınç Ölçümlerinden Mol Kütlesinin Hesaplanması

1,08 g kan plazma proteini (insan serum albümini) içeren 50,0 mL sulu çözelti hazırlanmıştır. Çözeltinin osmotik basıncı, 298 K de 5,85 mmHg dır. Albüminin mol kütlesi nedir?

Analiz

Çözeltideki proteinin (insan serum albümini) mol kütlesini bulmak için osmotik basıncı kullanmamız gerekir.

(devam ediyor)

Çözüm

İlk olarak osmotik basıncı atm cinsinden belirtmeliyiz.

$$\pi = 5{,}85 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} = 7{,}70 \times 10^{-3} \text{ atm}$$

Şimdi, osmotik basınç eşitliğini biraz değiştirerek, çözünenin molü (n) yerine; eşiti olan, çözünenin kütlesi (m)/çözünenin mol kütlesi (M), yani (m/M) yazarsak, M değerini bulabiliriz.

$$\pi V = nRT \qquad \pi V = \frac{m}{M}RT \qquad M = \frac{mRT}{\pi V}$$

Yukarıdaki son eşitlikte, verilen değerleri yerine koyarak M değerini bulurken, birimler birbirini yok eder ve M nin birimi g/mol olarak bulunur.

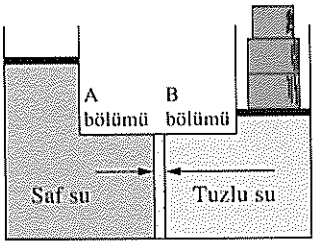
$$M = \frac{1{,}08 \text{ g} \times 0{,}08206 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{7{,}70 \times 10^{-3} \text{ atm} \times 0{,}0500 \text{ L}} = 6{,}86 \times 10^{4} \text{ g/mol}$$

Değerlendirme

Burada çözelti oldukça seyreltik olmasına rağmen, osmotik basıncın ölçülebilmesiyle insan serum albüminin mol kütlesini hesaplayabildik.

ALIŞTIRMA A: Kreatinin azot metabolizmasının bir yan ürünüdür ve böbrek fonksiyonunu ölçmekte bir gösterge olabilir. 4,04 g lık bir kreatinin örneği suda çözülerek, 100,0 mL çözelti hazırlanmıştır. Çözeltinin 298 K deki osmotik basıncı 8,73 mmHg dır. Kreatininin mol kütlesi nedir?

ALIŞTIRMA B: 2,12 g insan serumu albümünü içeren 75,00 mL lik bir sulu çözeltinin 37,0 °C deki osmotik basıncı nedir? Örnek 13-9 da bulunan mol kütlesi değerini kullanınız.

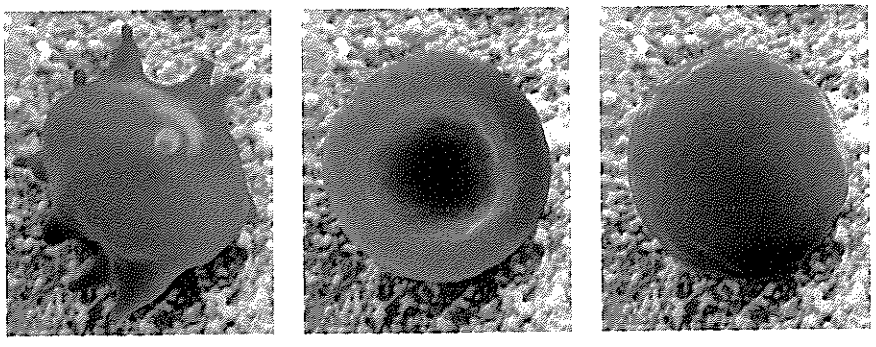


▲ ŞEKİL 13-18
Ters osmozla tuzlu suların tuzdan arındırılması
Membran, suya karşı geçirgen olup, iyonları geçirmez. Suyun normal akışı A tarafından B tarafına doğrudur. B tarafına tuzlu suyun osmotik basıncından daha büyük bir basınç uygularsak, tuzlu sudan saf suya doğru ters yönde bir akış gerçekleşir. Okların uzunluğu su moleküllerinin her iki yöndeki akış büyüklüğünü göstermektedir.

Pratik Uygulamalar

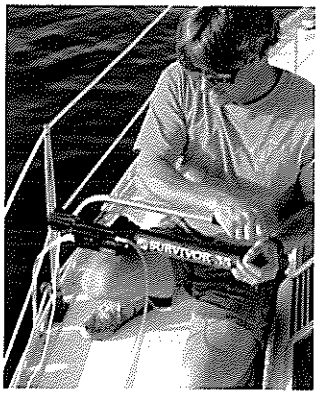
Osmoza en iyi örnekler canlı organizmalarda görülür. Sözgelimi, kırmızı kan hücreleri saf suya konulursa, osmoz yoluyla hücre içine giren su nedeniyle hücreler genişler ve sonunda patlar. Hücrelerin içindeki sıvının osmotik basıncı, % 0,92 (kütle/hacim) lik NaCl(suda) çözeltisinin yaptığı basınca eşittir. Bu nedenle, hücreler *bu derişimdeki* bir NaCl(suda) çözeltisi içine konulursa, hücre çeperinden içeriye doğru net bir su geçişi olmaz ve hücreler dengede kalır. Vücut sıvısı ile aynı osmotik basınca sahip böyle bir çözeltiye *izotonik* çözelti denir. Eğer bu kırmızı kan hücreleri, derişimi %0,92 den fazla olan bir NaCl(suda) çözeltisine konulursa, su, hücrelerin içinden dışarıya doğru akar ve hücreler büzülür. Böyle çözeltilere de *hipertonik* çözeltiler denir. NaCl derişiminin %0,92 den az olması durumunda, su geçişi dışarıdan hücre içine doğru olur ve bu tür çözeltilere *hipotonik* çözeltiler adı verilir. Bir hastadaki su kaybını dengelemek ya da hastaya gerekli besinleri sağlamak amacıyla damardan verilecek sıvı derişimlerinin, kan ile izotonik olacak şekilde ayarlanması gerekir. Diğer bir deyişle, verilen sıvının osmotik basıncı, % 0,92 (kütle/hacim) lik NaCl çözeltisinin osmotik basıncına eşit olmalıdır.

Osmozun güncel uygulamalarından biri, osmotik basıncı tam olarak açıklar. Şekil 13-18 i gözönüne alalım. Düzeneğin sağ tarafına (B), tuzlu su çözeltisinin osmotik basıncından *daha az* bir basınç uyguladığımızı varsayalım. Bu durumda, su moleküllerinin membran üzerinden net akışı,



▶ Hipertonik bir çözeltideki kırmızı kan hücresi (solda), izotonik bir çözeltideki kırmızı kan hücresi (ortada), hipotonik bir çözeltideki kırmızı kan hücresi (sağda).

A dan B ye doğru olacak ve normal osmoz gerçekleşecektir. Eğer B ye osmotik basınçtan *daha büyük* bir basınç uygularsak, suyun net akışının *ters* yöne doğru, yani; tuzlu sudan saf suya doğru olmasına neden oluruz. Bu olaya **ters osmoz** denir. Ters osmoz, acil durumlarda içme suyu elde etmek ya da kullanma suyu sağlamak için tuzlu suyun *tuzunu gidermekte* (desalinasyon) kullanılabildiği gibi, endüstriyel atıkların ya da belediye atık sularının çevreye verilmeden önce içlerinde çözünmüş maddelerden arındırılması amacıyla da kullanılabilir.



▲ Deniz suyunu tuzdan arındırmak için kullanılan küçük bir ters-osmoz düzeneği.

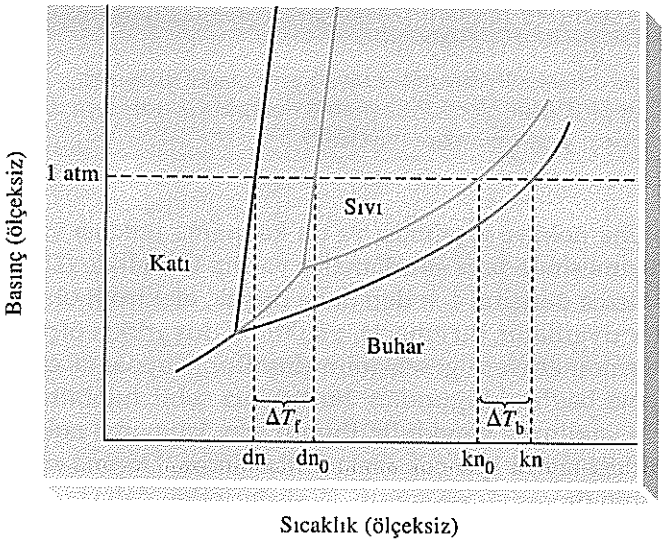
13-8 Elektrolit Olmayan Çözeltilerde Donma Noktası Alçalması ve Kaynama Noktası Yükselmesi

Kesim 13-6 da bir çözücünün buhar basıncının çözünen tarafından düşürülmesini inceledik. Buhar basıncı düşmesi, doğrudan çözücüye bağlı olmadığından bu kadar kolaylıkla ölçülemez. Şekil 13-19 daki mavi eğriler, saf bir çözücünün faz diyagramındaki buhar basıncı, erime ve süblimleşme eğrilerini göstermektedir. Kırmızı eğriler ise çözeltideki çözücünün buhar basıncı ve erime eğrileridir. Çözeltiden donan katı çözücünün süblimleşme eğrisi mor renkle gösterilmiştir. Şekil 13-19 daki diyagram iki kabule göre çizilmiştir: (1) çözünen uçucu değildir; (2) çözeltide donan madde saf çözücüdür. Birçok karışım bu kabule oldukça iyi uyar.*

◀ Şekil 13-19 da; sıvı faza bir çözünen eklenmesiyle katı ve buhar serbest enerjileri değişmez. Buna karşın, sıvıya çözün eklenmesi, çözeltinin serbest enerjisini düşürür. Bundan dolayı, dengeyi yeniden kurmak için, K-S (katı-sıvı) eğrileri daha düşük ve S-B (sıvı-buhar) eğrileri ise daha yüksek sıcaklığa kayar. Bu durum, Le Chatelier ilkesine bir örnek olarak düşünülebilir.

Çözeltinin buhar basıncı eğrisi (kırmızı), süblimleşme eğrisini, saf çözücüden daha düşük sıcaklıkta keser. Katı–sıvı erime eğrisi süblimleşme ve buhar basıncı eğrilerinin kesim noktasından başladığı için, bu da daha düşük sıcaklığa kayar. Şimdi faz diyagramında normal erime ve kaynama noktalarını nasıl belirlediğimizi anımsayalım. $P = 1$ atm olduğu noktadan çizilen çizginin erime ve buhar basıncı eğrilerini kestiği sıcaklıklar, sırasıyla erime ve kaynama noktalarını verir. Şekil 13-19 da bu çizgiyi kesen dört nokta, saf çözücü ve çözeltideki çözücünün, donma ve kaynama noktalarını göstermektedir. Görüldüğü gibi, çözeltideki çözücünün donma noktası *düşmüş*, kaynama noktası ise *yükselmiştir*.

Donma noktasındaki azalma ve kaynama noktasındaki yükselme, çözünenin mol kesrine (buhar basıncı düşmesindeki gibi) bağlıdır. *Seyreltik* çözeltilerde çözünenin mol kesri, *molalite* ile orantılıdır. Buradan çıkarak, aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz.



◀ ŞEKİL 13-19
ŞEKİL 13-19 Uçucu olmayan bir çözünenin, çözücü buhar basıncını düşürmesi
Saf bir çözücünün normal donma noktası ve normal kaynama noktası dn_0 ve kn_0 çözeltinin donma noktası ve normal kaynama noktası *dn* ve *kn*'dir. Donma noktası alçalması, ΔT_d ve kaynama noktası yükselmesi, ΔT_k ile gösterilmiştir. Çözünenin katı çözücüde çözünmediği varsayıldığından, çözücünün süblimleşme eğrisi, sıvı çözelti fazındaki çözünenin varlığından etkilenmez. Yani, her iki faz diyagramı için de, süblimleşme eğrisi aynıdır.

*Gerçekte, donma noktası alçalması eşitliği (13.5), çözünenin uçucu olduğu çözeltilere bile uygulanabilir.

ÇİZELGE 13.2 Donma Noktası Alçalması ve Kaynama Noktası Yükselmesi Sabitleri[a]

Çözücü	Normal Donma Noktası, °C	K_d, °C m^{-1}	Normal Kaynama Noktası, °C	K_k, °C m^{-1}
Asetik asit	16,6	3,90	118	3,07
Benzen	5,53	5,12	80,10	2,53
Nitrobenzen	5,7	8,1	210,8	5,24
Fenol	41	7,27	182	3,56
Su	0,00	1,86	100,0	0,512

[a]Donma noktası alçalması ve kaynama noktası yükselmesi sabitleri Celsius derecesi olarak verilmiştir. Bu değerler ideal çözeltideki 1 mol çözünenin 1 kg çözücüde çözünmesine karşılık gelir.

$$\Delta T_d = -K_d \times m \quad \textbf{(13.5)}$$

$$\Delta T_k = K_k \times m \quad \textbf{(13.6)}$$

UNUTMAYINIZ

T çözeltinin, T_d saf çözücünün donma noktası olmak üzere, donma noktası alçalması (ΔT_d) yani T–T_d olarak tanımlanırken, benzer şekilde; T_k saf çözücünün kaynama noktası olmak üzere, kaynama noktası yükselmesi (ΔT_k) de, T–T_k olarak tanımlanır. Bunun için, 13.5 eşitliğinde negatif işaret gereklidir.

Bu eşitliklerdeki ΔT_d ve ΔT_k donma noktası alçalması ve kaynama noktası yükselmesini, m, çözünenin molalitesini K_d ve K_k orantı sabitlerini göstermektedir. K_d nin değeri erime noktası, erime entalpisi ve çözücünün mol kütlesine, K_k nin değeri ise kaynama noktası, buharlaşma entalpisi ve çözücünün mol kütlesine bağlıdır. K_d ve K_k sabitlerinin birimi °C m^{-1} dir ve bunların değerlerini, 1 m çözeltinin donma noktası alçalması ve kaynama noktası yükselmesi olarak düşünebiliriz. Uygulamada, (13.5) ve (13.6) eşitlikleri 1 m dan daha derişik çözeltiler için her zaman doğru sonuç vermezler. Çizelge 13.2 de bazı çözücüler için K_d ve K_k değerleri verilmiştir.

Geçmişte kimyacılar buhar basıncı düşmesi, donma noktası alçalması, kaynama noktası yükselmesi ve osmotik basınç gibi sayısal özellikleri, molekül kütlelerinin belirlenmesi için kullanmışlardır. Örnek 13-9 da, osmotik basıncın bu amaçla nasıl kullanıldığını gördük. Örnek 13.10, donma noktası alçalması yoluyla mol kütlesinin ve hatta molekül formülünün nasıl bulunabileceğini göstermektedir. Bunun için üç ayrı soruya yanıt niteliğinde üç basamaklı bir işlem verilmiştir. Diğer türlü çözümler için kendi işlem sıranızı oluşturmanız gerecektir.

13-7 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Şekil 13-19, genel bir durum yerine, suyun faz diyagramı olarak çizilseydi, grafikte ne tür önemli değişiklikler olurdu? Kaynama noktasında artma ya da donma noktasında düşmeyi yine de bekler miydiniz?

▶ Bu eşitlikleri, elektrolit çözeltilere uygulamak için gerekli olan düzenlemeler Bölüm 13-9 da tartışılmaktadır.

Mol kütlesinin donma noktası alçalması ya da kaynama noktası yükselmesi yoluyla belirlenmesinde bazı sınırlamalar vardır. Öncelikle (13.5) ve (13.6) eşitlikleri yalnızca derişimi 1 m den daha düşük, elektrolit olmayan seyreltik çözeltilere uygulanır. Bu amaçla, ± 0,001 °C duyarlıkta ölçüm yapabilen, çok özel termometrelere gereksinim duyulur. Kaynama noktası barometre basıncına bağlı olduğundan, bu basıncı sabit tutabilmek için duyarlı ölçümlerin yapılması gereklidir. Bunun için, kaynama noktası yükselmesi, mol kütlesi tayini için çok fazla kullanılmaz. Donma noktası alçalması yönteminin duyarlığı ise suyun, K_d değerinden daha büyük olan çözücüler seçilerek arttırılabilir. Örneğin, sikloheksan için K_d = 20,0 °C m^{-1} ve kâfur için K_d = 37,7 °C m^{-1} dir.

ÖRNEK 13-10 Donma Noktası Verilerinden Molekül Formüllerinin Bulunması

Nikotin, tütün yapraklarından özütlenen bir sıvı olup, 60 °C nin altında, suda her oranda çözünür. **(a)** –0,450 °C de donmaya başlayan sulu bir nikotin çözeltisinin *molalitesi* nedir? **(b)** Bu çözelti 48,92 g suda 1,921 g nikotinin çözünmesi ile hazırlandığına göre, nikotinin mol kütlesi ne olmalıdır? **(c)** Yanma analizinde nikotinin kütlece %74,03 C, %8,70 H ve %17,27 N içerdiği bulunduğuna göre, nikotinin molekül formülü nedir?

Analiz

(a) Çizelge 13.2 deki listeden, suyun K_d değerini bulup, (13.5) eşitliğinde yerine koyarsak, nikotinin molalitesini bulabiliriz. **(b)** Molaliteyi bulduktan sonra, çözünenin miktarı bilindiğinden, bilinmeyen mol kütlesini (M), molalite eşitliğinde yerine koyarak, bulabiliriz. **(c)** Nikotinin kaba formülünü bulabilmemiz için, Örnek 3-5 deki yöntemi kullanmamız gerekir.

Çözüm

(a) $T_d = -0{,}450\ °C$ olarak verilmiştir ve $\Delta T_d = -0{,}450\ °C - 0{,}000\ °C = -0{,}450\ °C$ dir.

$$\text{molarite} = \frac{\Delta T_d}{-K_d} = \frac{-0{,}450\ °C}{-1{,}86\ °C\ m^{-1}} = 0{,}242\ m$$

(b) Mol kütlesini, x g/ mol olarak gösterelim. 1,921 g nikotinin mol miktarı; $1{,}921 \times (1\ \text{mol}\ /x\ \text{g}) = (1{,}921/\ x\ \text{mol})$ dür. Buradan;

$$\text{molarite} = \frac{1{,}921\ x^{-1}}{0{,}04892\ \text{kg su}} = 0{,}242\ \text{mol (kg su)}^{-1}$$

$$x = 162$$

Mol kütlesi; 162 g/ mol dür.

(c) Bu hesabın yapılması size bırakılmıştır. Nikotinin kaba formülü için bulacağınız sonuç C_5H_7N olmalıdır. Bu kaba formüle göre, formül kütlesi 81 akb dir. (b) şıkkındaki mol kütlesinden elde edilen molekül kütlesi, bunun tam iki katı olup; 162 akb dir. Buna göre, molekül formülü C_5H_7N in iki katı, yani $C_{10}H_{14}N_2$ dir.

Değerlendirme

Donma noktası verilerinin kullanımı, bir bileşiğin kimyasal özelliklerini belirlemek için kullanılabilecek deneysel yöntemlerden biridir. Bu örnekte, bir çözücü içinde bilinen miktarda çözünen bir bileşiğin donma noktası alçalmasından çıkarak molekül formülünü belirledik. Burada çözücü olarak su kullanılmakla birlikte, donma noktası deneylerinde diğer çözücüler de kullanılabilir.

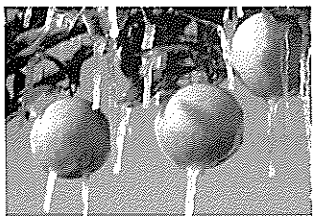
ALIŞTIRMA A: B_2 vitamini (riboflavin) suda çözünür. 0,833 g riboflavin, 18,1 g H_2O da çözüldüğünde, çözelti –0,227 °C de donmaktadır. **(a)** Çözeltinin molalitesi nedir? **(b)** Riboflavinin mol kütlesi nedir? **(c)** Yanma analizi sonucu elde edilen verilere göre; riboflavinin, % 54,25 C, % 5,36 H, % 25,51 O ve % 14,89 N içerdiği belirlendiğine göre, riboflavinin molekül formülü nedir?

ALIŞTIRMA B: Ürenin $[CO(NH_2)_2]$ 0,205 *m* olan sulu bir çözeltisinin 100,025 °C de kaynadığı bulunmuştur. Ölçüm yapıldığında barometrinin basıncı 760,0 mm Hg nın altında mı, yoksa üstünde midir? [*İpucu:* Atmosfer basıncı 760,0 mm Hg olduğunda, çözelti kaç derecede kaynamaya başlar?]

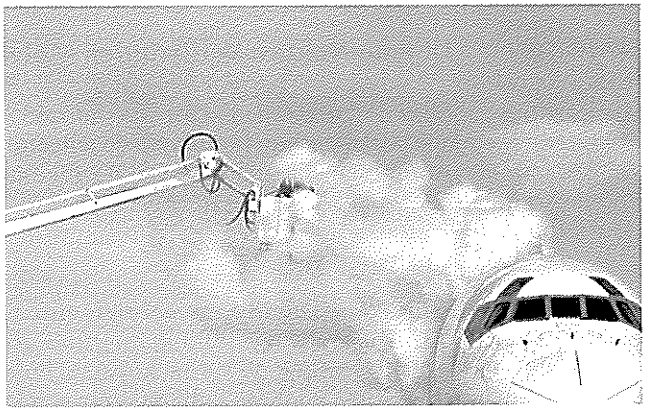
Pratik Uygulamalar

Otomobillerde en çok kullanılan *antifriz* etilen glikoldür ($HOCH_2CH_2OH$). Otomobillerin soğutma sistemlerine etilen glikol-su karışımı konulması, tüm hava koşullarında koruma sağlar. Yaz aylarında, etilen glikol suyun kaynama noktasını yükselterek soğutma sistemini aşırı ısınmaya karşı korur.

Narenciye üreticileri, sıcaklığın 0 °C nin altına düşmesiyle birlikte donma olayları ile karşılaşacaklarını ve koruyucu önlem almaları gerektiğini bilirler. Meyvenin içindeki meyve suyunda çözünmüş maddeler donma noktasını bir ya da iki derece düşürmeye yeterlidir. Limonda çözünen



▲ Turunçgiller üzerine püskürtülen su, meyveler üzerinde ısı yalıtıcısı gibi davranan bir buz tabakası oluşturur. Zamanla eriyen buz dışarıya erime ısısını verir ve bir süre sıcaklık 0°C de sabit kalır. Böylece, donma noktası 0°C'nin altında olan meyvenin içerideki suyu donmaktan korunmuş olur.



▲ Propilen glikol; $CH_3CH(OH)CH_2OH$, uçaklar için tipik bir buzlanma önleyicidir. Su ile seyreltilir, yüksek basınçta, sıcak olarak püskürtülerek uygulanır.

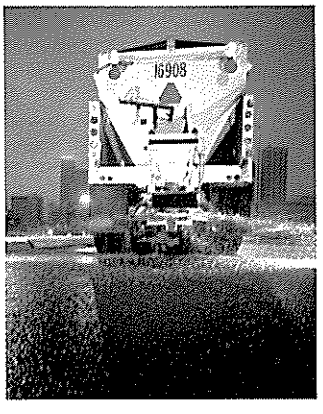
madde (şeker) derişiminin portakaldakinden daha düşük olması nedeniyle, üreticiler limonu korumak için önlemlerini daha önceden alırlar.

Herhangi bir şeyi soğutmak ya da dondurmak için NaCl gibi tuz karışımlarıyla hazırlanan, *soğutma banyosu* kullanılabilir. Örneğin, evde yapılan bir dondurmayı dondurmak için buz ve NaCl(k) karışımından yararlanılabilinir. Soğutma banyosu sıcaklığı 0 °C nin altına düşürür ve bu sıcaklıkta şeker-süt karışımı kolaylıkla donar. NaCl kışın yollardaki buzlanmayı önlemede de çok yararlı olup, donma noktasını –21 °C (–6 °F) ye kadar düşürebilir. Bu sıcaklık NaCl(suda) çözeltisinin düşürebildiği en düşük donma noktasıdır.

13-8 KAVRAM DEĞERLENDİRME

Suya ne kadar NaCl(k) eklenilirse eklenilsin, NaCl(suda) çözeltisinin donma noktası –21 °C nin altına düşmez. Bunun nedenini nasıl açıklarsınız?

13-9 Elektrolit Çözeltiler



▲ Yollardaki suyun donma noktasının düşürülmesi.

Kesim 5-1 de çözeltilerin elektriksel iletkenliği ile ilgili anlattıklarımız, aslında, İsveçli kimyacı Svante Arrhenius'un doktora tezi için yaptığı (1883) bazı çalışmaların gözden geçirilmesidir. O dönemde yaygın olan düşünce; iyonların sadece çözeltiden elektrik akımı geçtiğinde oluşabileceği yönündeydi. Arrhenius, katı maddelerde iyonların bulunduğunu ve bu katı maddeler suda çözündüklerinde, NaCl de olduğu gibi iyonların birbirinden ayrıldığını söylemiştir. HCl gibi bazı bileşiklerde ise, iyon bulunmamasına karşın, bu tür bileşiklerin suda çözünmesiyle iyonların oluştuğunu ileri sürmüştür. Dolayısıyla, iyon oluşumu için elektrik akımının gerekli olmadığı sonucuna varmıştır.

Arrhenius, elektrolitik ayrışma kuramını çözeltilerin elektriksel iletkenliklerini açıklamak için geliştirdiyse de, bu kuramı çok daha geniş bir alana taşımıştır. Arrhenius kuramının başarılarından biri, van't Hoff (1852-1911) tarafından tanımlanan sayısal (kolligatif) özelliklerde görülen bazı sıra dışı değerlerin açıklanması olmuştur.

Kuraldışı Sayısal (Kolligatif) Özellikler

Bazı çözünen türler, sayısal özellikler üzerinde beklenenden daha fazla etki gösterirler. Örneğin, 0,0100 *m* lık bir sulu çözeltiyi ele alalım. Bu çözelti için öngörülen donma noktası düşmesi,

$$\Delta T_d = -K_d \, x \, m = -1{,}86 \text{ °C m}^{-1} \times 0{,}0100 \, m = -0{,}0186 \text{ °C}$$

olacaktır. Yani bu çözeltinin donma noktasının -0,0186 °C olmasını bekleriz. Eğer, söz konusu olan 0,0100 *m* çözelti, 0,0100 *m* üre çözeltisi ise, ölçülen donma noktası gerçekten –0,0186 °C dir. Diğer yandan, eğer bu çözelti 0,0100 *m* NaCl çözeltisi ise, ölçülen donma noktası, -0,0361 °C olacaktır.

Van't Hoff, elektrolit bir çözeltide deneysel olarak ölçülen donma noktası alçalmasının hesaplanan ya da beklenen donma noktası alçalmasına oranını *i* ile belirtmiş ve buna Von't Hoff faktörü denilmiştir.

$$i = \frac{\text{ölçülen } \Delta T_d}{\text{beklenen } \Delta T_d} = \frac{-0{,}0361\ ^\circ\text{C}}{-1{,}86\ ^\circ\text{C}\ m^{-1} \times 0{,}0100\ m} = 1{,}94$$

◀ Bu kesimin ilerleyen konularında 0,0100 *m* NaCl için *i* değerinin deneysel olarak 2 yerine 1,94 bulunmasının nedenini açıklayacağız.

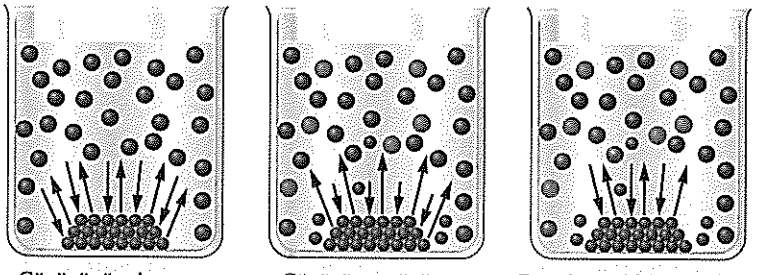
13-2 MERAK EDİYORSANIZ...

Bir çözücünün donma noktasının bir çözünen tarafından düşürülmesinin molekül düzeyinde bir açıklaması var mıdır?

Saf bir maddenin katı ve sıvı fazları belirli bir sıcaklıkta birarada bulunduğunda, iki olay gerçekleşir. Öncelikle, katı ile çarpışan sıvı molekülleri anlık olarak tutulur ve katı faza katılırlar. Aynı zamanda, bazen de katının yüzeyindeki moleküller ayrılarak sıvı faza geçerler. Zamanla, katı yüzeyinden ayrılan moleküllerin sayısı ile sıvı fazdan katı faza geçen moleküllerin sayısı eşitlenerek dinamik bir denge kurulur. Moleküllerin iki faz arasındaki bu ileri geri hareketleri sürse de, sıvıdan katıya ya da katıdan sıvıya geçen molekül sayıları aynı olduğundan net bir değişim yoktur.

Şimdi, kendi katı fazı ile birlikte bulunan bir sıvının içine, bir çözünen eklediğimizi düşünelim. Katı fazın üzerinde oluşan çözeltide, çözünen molekülleri bazı çözücü molekülleri ile yer değiştirir. Bunun sonucu olarak, verilen hacimdeki çözeltide bulunan çözücü molekülleri, aynı hacimdeki saf çözücüye göre sayıca azalır. Sıvı içindeki bazı çözücü moleküllerinin zamanla katının yüzeyine geçmesinden dolayı, çözücünün sıvı ve katı fazları arasında var olan saf çözücüdeki dinamik denge bozulur. Sıvı fazdan katı faza uzaklaşan moleküllerin hızı azalır ve katı fazı terk eden moleküllerin hızına eşit olamaz. Bununla birlikte, çözelti soğutulduğunda, dinamik denge yeniden kurulur. Çünkü ortam soğuyunca, katının yüzeyinden kopmaya yetecek kadar enerjiye sahip moleküllerin sayısı azalırken, sıvı içindeki, katı faz tarafından tutulmaya yetecek kadar düşük kinetik enerjili moleküllerin sayısı artar. Bu düşük denge sıcaklığı, donma noktası alçalmasına karşılık gelir.

Donma noktası alçalması için yapılan bu kinetik-molekül temelli yorum, ilgi çekici olsa da, bu olay Bölüm 19 da termodinamik bir kavram olan entropi ile daha iyi açıklanacaktır.



Çözücünün donma noktasında kurulan denge | Çözücüye, çözünen eklenmesiyle kurulan denge | Düşük sıcaklıkta yeniden kurulan denge

▲ Donma noktası alçalmasına molekül düzeyinde bakış. Bir sıvı çözücüye çözünen bir madde eklenmesi, katı fazdan uzaklaşan moleküllerin hızını değiştirmez. Buna karşın çözücü moleküllerinin katı faza geçiş hızını azaltır. Katı ile sıvı çözücü arasındaki dinamik denge bozulmakla birlikte, düşük sıcaklıkta denge yeniden sağlanabilir.



▲ **Svante Arrhenius (1859–1927)**
Arrhenius, kimya alanında Nobel Ödülü aldığı zaman (1903) bulduğu sonuçlar "ne kimyacılar tarafından kimya, ne fizikçiler tarafından fizik" olarak kabul görmüştür. Bulguları, bu iki bilim dalı arasında bir köprü oluşturacak sonuçlar olarak yorumlanmış ve bu nedenle Fizikokimyanın temeli, Arrhenius'un çalışmalarına dayanmaktadır.

Arrhenius'un elektrolitik ayrışma kuramı sayesinde van't Hoff faktörünün (i) farklı çözünenler için farklı değerler vermesini açıklayabiliriz. Üre, gliserin ve şeker gibi elektrolit olmayan çözünenler için $i = 1$ dir. NaCl gibi, çözeltide mol başına *iki* mol iyon oluşturan güçlü elektrolitler için, donma noktası alçalması üzerindeki etkinin elektrolit olmayanlara göre *iki* kat daha fazla olmasını, yani, $i = 2$ olmasını bekleriz. Benzer şekilde, $MgCl_2$ için beklenen değer, $i = 3$ *dür*. Zayıf bir asit olan ve sulu çözeltisinde çok az iyonlaşan CH_3COOH (asetik asit) için i değerinin birden biraz büyük, ama ikiden de oldukça küçük olmasını bekleriz.

▶ Saf su elektriği iletmez. O halde, sulu ortamların yakınında bulunduğumuzda neden elektriğe dikkat etmemiz gerekir? Bunun nedeni su değil, suda çözünmüş olan elektrolitlerdir.

Bu tartışmanın sonucunda (13.4), (13.5) ve (13.6) eşitliklerini, aşağıdaki şekilde yeniden yazabilmemiz gerekir.

$$\pi = i \times M \times RT$$
$$\Delta T_d = -i \times K_d \times m$$
$$\Delta T_k = i \times K_k \times m$$

Bu eşitlikler elektrolit olmayanlar için kullanıldığında, basitçe $i = 1$ alınır. Güçlü elektrolitler için ise, i değerini Örnek 13-11 deki gibi kullanabiliriz.

İyonlar Arası Çekimler

Başlangıçtaki başarılarına karşın, daha sonra Arrhenius'un kuramında belirgin eksiklikler ortaya çıkmıştır. Kuvvetli elektrolitlerin derişik çözeltilerinin elektriksel iletkenlikleri beklenildiği kadar büyük değildir ve Çizelge 13-3 de gösterildiği gibi, van't Hoff faktörü i nin değeri çö-

ÖRNEK 13-11 Elektrolit Çözeltiler için Sayısal Özelliklerin Öngörülmesi

0,00145 m $MgCl_2$ sulu çözeltisinin donma noktasını öngörünüz.

Analiz

Burada donma noktası alçalmasına ilişkin van't Hoff faktörünü (i) içeren eşitliği kullanacağız. Öncelikle $MgCl_2$ ün suda çözündüğünde tümüyle ayrışan bir tuz olduğunu göz önüne almamız gerekir. Böylece $MgCl_2$ için i değerini tanımlayabiliriz. Bunu, katı $MgCl_2(k)$ ün ayrışmasına ilişkin eşitliği yazarak yapabiliriz. Sonrasında uygun donma noktası alçalması ifadesini kullanırız.

Çözüm

$$MgCl_2(k) \xrightarrow{H_2O} Mg^{+2}(suda) + 2\,Cl^-(suda)$$

Çözünenin birim molü başına *üç* mol iyon oluştuğundan, $i = 3$ olmasını bekleriz. Aşağıdaki eşitliği kullanarak

$$\Delta T_d = -i \times K_d \times m$$
$$= -3 \times 1{,}86\ °C\ m^{-1} \times 0{,}00145\ m$$
$$= -0{,}0081\ °C$$

buluruz. Beklenen donma noktası –0,0081 °C dir.

Değerlendirme

$MgCl_2$ ün i değeri tam olarak 3 olmadığı için, sonucun iki veya daha fazla anlamlı rakam taşımasını tam olarak açıklayamayız. Eğer $MgCl_2$ ün güçlü bir elektrolit olduğu gerçeğini gözönüne almayıp $i = 1$ alsaydık, bulduğumuz donma noktası alçalması değeri, deneysel olarak bulunan değerden üç kat daha küçük olacaktı. Verilen sorularda iyonik bileşikler söz konusu olduğunda, van't Hoff faktörünü kullanmayı unutmamamız gerekir.

ALIŞTIRMA A: 0,0530 M $MgCl_2$ çözeltisinin 25 °C deki beklenen osmotik basıncı nedir?

ALIŞTIRMA B: Donma noktası –0,100 °C olan bir sulu çözelti hazırladığınızı varsayınız. 250,0 mL lik böyle bir çözelti hazırlamak için 12,0 M HCl den kaç mililitre almalısınız? [*İpucu:* Seyreltik sulu çözeltilerde molalite ile molarite sayısal olarak birbirine eşittir.]

ÇİZELGE 13.3 van't Hoff Faktörü (i) nin Çözelti Molalitesi ile Değişimi[a]

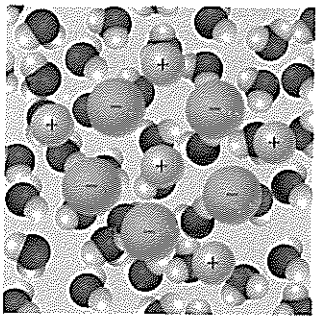
	Molalite, m					
Çözünen	1,0	0,10	0,010	0,0010	...	Sonsuz seyr.[a]
NaCl	1,81	1,87	1,94	1,97	...	2
$MgSO_4$	1,09	1,21	1,53	1,82	...	2
$Pb(NO_3)_2$	1,31	2,13	2,63	2,89	...	3

[a]Çözelti sonsuz seyreldiğinde $i = 2$, 2 ve 3 sınır değerine ulaşır. NaCl gibi tek yüklü iyonlar oluşturan bir çözünen, sınır değerine daha büyük yük taşıyan iyonlardan daha çabuk ulaşır. Çok yüklü iyonlar içeren çözeltide iyonlar arası etkileşimler daha fazladır.

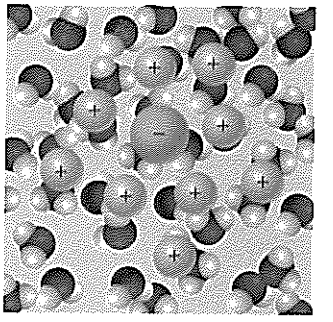
zeltinin derişimine bağlıdır. Güçlü elektrolitler, sulu çözeltilerinde tamamen iyonik yapıda bulunduklarında derişimine bakılmaksızın NaCl için $i = 2$ ve $MgCl_2$ için $i = 3$ değeri alınabilir.

1923 yılında Peter Debye ve Erich Hückel tarafından ileri sürülen elektrolit çözeltiler kuramıyla iyonik çözeltilerde ortaya çıkan bu sorunlar, çözülebilmiştir. Bu kuram, sulu çözeltide güçlü elektrolitlerin sadece iyonik halde bulunduğu görüşünü sürdürmekle birlikte, çözeltideki bu *iyonların birbirinden bağımsız hareket edemeyeceğini*, her katyonun anyonların yoğun olduğu bir iyon kümesi tarafından, her anyonun ise katyonların yoğun olduğu bir iyon kümesi tarafından sarılacağını öngörür. Yani, her iyon kendi net yükünün tersi yüklü bir *iyon atmosferi* ile çevrilmektedir (Şekil 13-20).

İyon atmosferi tarafından uygulanan çekim ya da sürükleme nedeniyle, elektriksel bir alan uygulandığında her bir iyonun hareketliliği azalır. Benzer şekilde, sayısal özelliklerin büyüklüğü de azalır. Bu durum, örneğin 0,010 *m* NaCl ün *i* değerinin 2,00 yerine neden 1,94 olduğunu açıklar. Öyleyse, sulu çözeltideki her tür iyon için iki "derişim" söz konusudur. Bunlardan biri, çözeltide çözünmüş madde miktarını temel alan *stokiyometrik derişimdir*. Diğeri ise, iyonlar arası etkileşimden kaynaklanan "etkin" derişim olup, *aktiflik (etkinlik)* olarak adlandırılır. Bölüm 4 ve 5 de anlatılan türdeki stokiyometrik hesaplamalar, stokiyometrik derişimlerin kullanımıyla büyük bir doğrulukla yapılabilir. Ancak, çözelti özelliklerini kapsayan hesaplamalarda stokiyometrik derişimlerin kullanımı %100 doğru sonuç vermez. Bunun yerine etkinliklerin kullanılması gerekir. Bir çözeltinin etkinliği ile (aktifliği) onun stokiyometrik derişimi arasındaki ilişki, *etkinlik katsayısı* denilen bir faktör ile belirtilir. Etkinlikler hakkında edinmemiz gereken bazı önemli bilgiler vardır. Yeterince seyreltik çözeltilerde etkinlik katsayısı yaklaşık bir olup, etkinlik ile stokiyometrik derişim aynıdır. Biz burada hesaplamaları yaparken, sadece stokiyometrik derişimlerle ilgileneceğiz. Çünkü, etkinlik katsayılarının hesaplamalardaki kullanımı bu kitabın kapsamı dışındadır. Özellikle, etkinlik ile stokiyometrik derişim arasındaki farkı ayırt edebilmeniz gerekir. Bu birçok kimyasal olayı açıklamakta yardımcı olur. Etkinliğin önemini daha ayrıntılı olarak 15 ve 19. bölümlerde tartışacağız.



(a)



(b)

▲ ŞEKİL 13-20
13-20 Sulu çözeltide iyonlar arası etkileşimler
(a) Sulu bir çözeltideki pozitif bir iyon negatif iyonlardan oluşan bir tabaka ile çevrilmiştir. **(b)** Negatif bir iyon, pozitif iyonları derhal çevresinde toplar.

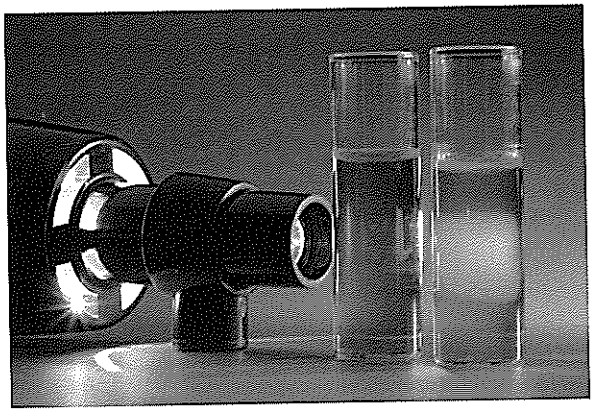
13-10 Kolloidal Karışımlar

Kumla su karıştırıldığında kum (SiO_2, silika), hızlı bir şekilde dibe çöker. Bununla birlikte, kütlece % 40 civarına varan oranlarda SiO_2 içeren ve silikanın yıllarca dibe çökmeden, sulu ortamda asılı kaldığı karışımlar da hazırlanabilir. Bu karışımlarda silika, iyon ya da molekül halinde *değildir* ancak mikroskopik boyuttadırlar. Bu karışımlara **kolloit** denir. Bir maddenin *kolloidal* olarak sınıflandırılabilmesi için uzunluk, genişlik veya kalınlık boyutlarından bir ya da daha fazlasının yaklaşık 1–1000 nm aralığında olması gerekir. Bütün boyutlar 1 nm den küçükse, bu tür tanecikler

◀ Kolloidler, gıda endüstrisi için son derece önemlidir. Jelatinler kolloit olup çoğu gıda maddesi kolloidal karışımdır. Bu nedenle gıda endüstrisi, kolloidal karışımların bozunmasını önlemek için dikkate değer araştırmalar yapmaktadır.



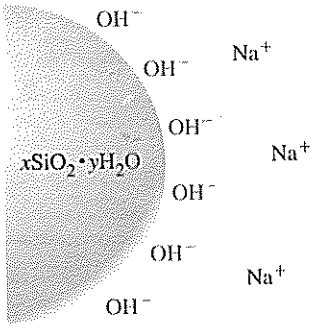
▲ **Hemodiyaliz**
Böbrek yetmezliği olan hastaların kanını temizleyen yapay böbrek makinesi.



▶ ŞEKİL 13-21
Tyndall etkisi
Parlak ışın demeti gerçek bir çözeltiden geçerken görülmez (solda) fakat Fe_2O_3 in kolloidal çözeltisinden geçerken kolaylıkla görülebilir (sağda).

molekül boyutundadır. Eğer taneciğe ait tüm boyutlar 1000 nm den daha büyükse, bu tanecikler ancak mikroskop altında görülebilseler dahi normal ya da makroskopik boyutta oldukları söylenir. Şekil 13-21 de bir karışımın çözelti mi, yoksa kolloit mi olduğunu belirlemeye yarayan bir yöntem gösterilmiştir. Işık gerçek bir çözeltiden geçtiğinde, ışık demetinin yayıldığı doğrultuya dik konumdan bakan bir gözleyici ışık göremez. Kolloidal bir dağılımda aynı gözlem yapıldığında ise ışık her yöne saçıldığından, kolaylıkla görülebilir. 1869 yılında ilk kez John Tyndall tarafından araştırılan bu etki, *Tyndall etkisi* olarak bilinir. Parlak ışığın toz zerrecikleri tarafından saçılmaya uğratılması Tyndall etkisine iyi bir örnektir.

Kolloidal silikada tanecikler küre şeklindedir. Bazı kolloidal tanecikler çubuk şeklinde bazıları ise insan kan plazmasındaki gama globulin gibi disk şeklinde olabilir. Su üzerinde ince bir film halinde toplanan yağ tabakası, kolloidaldir. Selüloz gibi bazı kolloitler, gelişi güzel kıvrılmış iplik yumakları şeklinde bulunurlar.

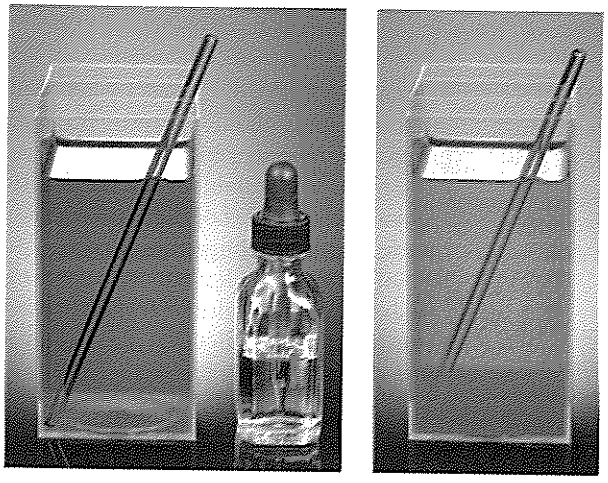


▲ ŞEKİL 13-22
Kolloidal silikada SiO_2 taneciklerinin yüzeyi
Bu basitleştirilmiş çizimde: (1) SiO_2 parçacıklarının hidratlaşmış olduğu (2) yüzeyde seçimli olarak OH^- iyonlarının adsorplandığı (3) yüzeyin çevresindeki negatif iyonların sayısının pozitif iyonlardan daha fazla olduğu, dolayısı ile net yükün negatif olduğu gösterilmiştir. Ancak, negatif yükün bir bölümünün silikat anyonlarından (örn. SiO_3^{2-} den) geldiği ve bir bütün olarak, bu tanecikleri içeren çözeltinin elektrikçe nötr olduğu gösterilmemiştir.

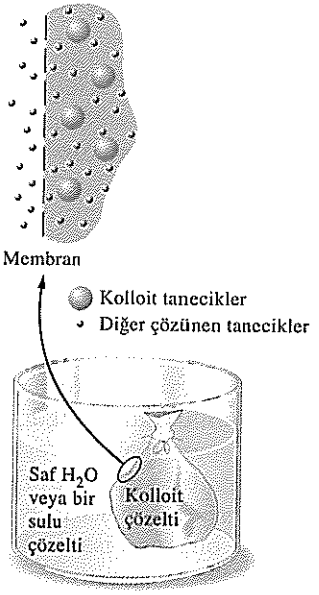
Kolloidal silikada, SiO_2 taneciklerini asılı halde tutan nedir? Burada en önemli etken SiO_2 tanecik yüzeylerinin diğer SiO_2 taneciklerini ve çözeltideki iyonları *adsorblama* veya tutma etkisidir. Seçimli olarak bir iyon türü diğerlerinden daha fazla adsorblanır. SiO_2 yüzeyleri, seçimli olarak OH^- iyonlarını adsorblar (Şekil 13-22) ve bunun sonucu tanecikler negatif net yük kazanırlar. Benzer yüke sahip bu tanecikler birbirini iterler. Bu karşılıklı itme yer çekimi kuvvetini yener ve tanecikler sürekli olarak asılı durumda kalırlar.

Bir kolloidin kararlılığında elektriksel yük önemli olmasına karşın, yüksek iyon derişimleri de *koagülasyona (pıhtılaşmaya)*, ya da kolloidin çökmesine neden olurlar (Şekil 13-23). Koagülasyona neden olan iyonlar, kolloidal tanecikler üzerindeki yüke karşı zıt yük taşıyan iyonlardır. *Diyaliz* osmoza benzer bir işlem olup, kolloidal bir karışımdaki iyonların fazlasını uzaklaştırmak için kulanılabilir. Şekil 13-24 de gösterildiği gibi, diyaliz işleminde çözücü molekülleri ve çözünen maddenin iyon ya da molekülleri yarı-geçirgen bir membrandan geçerken, daha büyük kolloidal tanecikler bu membrandan geçemez. Bazı durumlarda elektriksel bir alanda çalışıldığında işlem çok daha etkili olur. *Elektrodiyalizde* iyonlar ters yük taşıyan bir elektrot tarafından kolloidal karışımın dışına çekilirler. İnsan böbreği, metabolik işlemler sırasında üretilen elektrolitlerin fazlasını uzaklaştırmak yoluyla kolloidal bir karışım olan kanı diyalizler. Bazı durumlarda, böbrek diyalizleme yeteneğini kaybeder ve diyaliz makinası vücudun dışında böbreğin işlevini üstlenir.

Çizelge 13.4 de bazı yaygın kolloitler verilmiştir. Kolloit kimyasının Amerikalı öncüsü Wilder Baneroft'ın dediği gibi "...kolloit kimyası, kolloitleri ve kimyadaki yerini gerçekten kavramak isteyen herkes için gereklidir. Örneğin,... petrol, gres yağı, sabunlar,... zamklar, nişasta, tutkallar,... boyalar, vernikler, laklar,... krema, tereyağı, peynir,... pişirme, yıkama, boyama kolloit kimyasının parçasıdırlar. Yani, kolloit kimyası, hayatın kimyasıdır."



▲ ŞEKİL 13-23
Kolloit demir oksidin pıhtılaşması (koagülasyonu)
Soldaki kırmızı kolloidal Fe_2O_3, kaynayan suya $FeCl_3$(suda) eklenerek elde edilmiştir. Bu kolloit çözeltisine birkaç damla $Al_2(SO_4)_3$ (suda) eklendiğinde, sağda görüldüğü gibi, asılı tanecikler hızla pıhtılaşarak Fe_2O_3 (k) çökeleği oluştururlar.



▲ ŞEKİL 13-24
Diyalizin ilkesi
Su molekülleri, diğer çözünen maddeler ve çözünmüş iyonlar, membranın (örneğin bir sellofan filmi) gözeneklerinden geçebilirler. Bu geçişin yönünü membranın her iki tarafına geçecek olan taneciklerin bağıl derişimleri belirler. Buna karşın, kolloidal tanecikler membranın gözeneklerinden geçemezler.

ÇİZELGE 13.4 Bazı Yaygın Kolloit Türleri

Dağılan faz	Dağılma ortamı	Tür	Örnekler
Katı	Sıvı	Sol	Kil solleri[a], kolloidal silika, kollaidal altın
Sıvı	Sıvı	Emülsiyon	Suda sıvı yağ, süt, mayonez
Gaz	Sıvı	Köpük	Sabun ve deterjan çözeltisi, çırpılmış krema, pasta kreması
Katı	Gaz	Aerosol[b]	Duman, tozlu hava[c]
Sıvı	Gaz	Aerosol[b]	Sis, pus
Katı	Katı	Katı sol	Koyu kırmızı cam, bazı doğal ve sentetik süs taşları, siyah elmas
Sıvı	Katı	Katı emülsiyon	Opal, inci
Gaz	Katı	Katı köpük	Sünger taşı, lav, volkan külü

[a] Suyun saflaştırılmasında bazen, kil parçacıklarını ve diğer asılı kolloidal parçacıkları çöktürmek gerekir. Bu işlem suya uygun bir elektrolit eklenerek yapılır. Kil sollerinin pestisitleri ve onları çevreye dağıtan bazı organik bileşikleri adsorpladığı sanılmaktadır.

[b] Dumanlar karmaşık yapıda olup, en azından kısmen kolloidaldirler. Asılı parçacıklar katı ya da sıvı olabilir. Dumanın diğer bileşenleri kükürt oksitleri, azot oksitleri ve ozon gibi moleküllerdir.

[c] Tütün dumanının mavimsi görünüşü ve çöllerde güneşin parlak batışı, havada asılı bulunan kolloidal parçacıkların ışığı saçılıma uğratmasından ileri gelir.

MasteringCHEMISTRY www.masteringchemistry.com

Benzin gibi kompleks karışımların bileşenlerine ayrılması, kromatografi olarak bilinen bir teknikle yapılmaktadır. Bu tekniğin birçok farklı çeşidi olmakla birlikte, kromatografi farklı moleküllerin belirli bir materyalle farklı etkileşimlerine dayanır. Bu konuda daha fazla bilgi için bakınız: Focus On feature for Chapter 13, Chromatography, on the MasteringChemistry site.

Özet

13-1 Çözelti Türleri: Bazı Terimler—Çözeltinin fiziksel halini, çözeltide genellikle en fazla miktarda bulunan bileşen olan **çözücü**, belirler (Çizelge 13.1). **Çözünen**, çözeltinin çözücü içinde çözünen bileşenidir. Seyreltik çözeltiler bağıl olarak küçük miktarlarda çözünen içerirken, derişik çözeltilerde çözünen miktarı oldukça fazladır.

13-2 Çözelti Derişimleri—Bir çözelti bileşimine ilişkin yapılacak olan her tanımlama, çözünen ve çözücü (ya da çözelti) miktarını belirtmelidir. Çözelti derişimleri kütle yüzdesi, hacim yüzdesi ve kütle/hacim yüzdesi olarak veya milyonda bir kısım (**ppm**), milyarda bir kısım (**ppb**) ve trilyonda bir kısım (**ppt**) birimleriyle verilebilir. Bununla birlikte, daha temel derşim birimleri ise, mol kesri, molarite ve molalitedir. Molarite (çözeltinin litresi başına çözünen molü) sıcaklığa bağlı iken, **molalite** (çözücünün kilogramı başına çözünen molü) sıcaklıktan bağımsızdır.

13-3 Moleküller Arası Kuvvetler ve Çözünme—İki maddenin bir çözelti oluşturmak üzere karışıp karışmayacağına ilişkin öngörüde bulunabilmek için, benzer ve benzer olmayan moleküller arasındaki kuvvetlerin niteliğinin iyi bilinmesi gerekir (Şekil 13-2 ve 13-3). Bu yaklaşım ile bir **ideal çözeltinin** tanımlanması mümkündür. Bileşenlerinin özelliklerinden yola çıkarak ideal çözeltilerin özelliklerini öngörmek olasıdır. Çözeltilerin çoğu, ideal olmayan çözeltilerdir.

13-4 Çözelti Oluşumu ve Denge—Bir çözücünün, bir çözüneni çözme miktarı genellikle sınırlıdır. Çözebileceği maksimum miktarda çözünen içeren bir çözelti **doymuş çözelti**, bu miktardan daha az çözünen içeren bir çözelti, **doymamış çözeltidir**. Belli koşullar altında bir çözelti, normal doymuş çözeltinin içerdiği çözünen miktarından daha fazla çözünen içerecek şekilde hazırlanabilir; böyle çözeltilere **aşırı doymuş çözelti** denir. **Çözünürlük**, doymuş bir çözeltideki çözünen derişiminin bir ölçüsü olup, sıcaklığa bağlıdır. Çözünenin çözünürlüğünün sıcaklığa karşı grafiğinden (Şekil 13-8) **ayrımsal kristallendirme (yeniden kristallendirme)** yoluyla, birkaç çözünen içeren çözeltiden, bir çözüneni saf olarak elde edebiliriz (Şekil 13-9).

13-5 Gazların Çözünürlüğü—Gazların çözünürlüğü, basıncın yanı sıra, sıcaklığa da bağlıdır. Bilinen bir çok olay gaz çözünürlükleri ile ilişkilidir ve gaz çözünürlüğü gibi birçok etkene bağlıdır. **Henry yasası** (Eşitlik 13-2), çözeltideki bir gazın derişimi ile çözelti üzerindeki basıncının ilişkisini gösterir.

13-6 Çözeltilerin Buhar Basınçları—Bir çözeltinin buhar basıncı, o çözeltinin saf bileşenlerinin buhar basınçlarına bağlıdır. Eğer çözelti, ideal çözelti ise; çözeltinin buhar basıncını hesaplamak için, **Raoult yasası** (eşitlik 13.3) kullanılabilir. Sıvı-buhar dengesi eğrileri, çözelti buhar basınçlarını (Şekil 13-12) ya da çözelti kaynama noktalarını (Şekil 13-13) çözelti bileşiminin bir fonksiyonu olarak gösterir. Bu eğriler yardımıyla bir çözeltinin uçucu bileşenlerinin ayrılması için yaygın olarak kullanılan, **ayrımsal damıtma** yöntemini anlayabiliriz. Benzer eğriler, ideal olmayan bazı çözeltilerdeki azeotrop oluşumlarını da gösterir. **Azeotroplar**, sabit sıcaklıkta kaynayan ve sıvısı ile buharı aynı bileşimde olan çözeltilerdir. Kaynama noktaları bazı durumlarda saf çözücüden daha yüksek, bazı durumlarda daha düşüktür (Şekil 13-15).

13-7 Osmotik Basınç—**Osmoz**, farklı derişimdeki iki çözeltiyi ayıran yarı geçirgen bir zardan (membran) çözücünün kendiliğinden akışıdır. Çözücünün net akışı daha seyreltik çözeltiden daha derişik çözeltiye doğru olur. Osmotik akış, derişik olan çözeltiye **osmotik basınç** denilen bir basıncın uygulanmasıyla durdurulabilir. **Ters osmoz**da, daha derişik çözeltiye uygulanan basınçdan daha büyük bir basınç uygulanarak akış yönü tersine çevrilir. Osmoz ve ters osmozun önemli uygulama alanları vardır. Osmotik basınç, ideal gaz eşitliğine benzeyen bir eşitlikle (eşitlik 13.4) hesaplanabilir. Sadece çözeltide çözünmüş olan taneciklerin derişimine bağlı olan ve çözünenin türüne bağlı olmayan özellikler **sayısal özellikler** (kolligatif özellikler) olarak bilinir. Bu tür özelliklerin biri buhar basıncı düşmesi (Kesim 13-6) diğeri ise osmotik basınçtır.

13-8 Elektrolit Olmayan Çözeltilerin Donma Noktası Alçalması ve Kaynama Noktası Yükselmesi—Donma noktası alçalması ve kaynama noktası yükselmesi (Şekil 13-19) birçok uygulama alanı olan sayısal özelliklerdir. Donma noktası alçaması ve yükselmesi, yeterince seyreltik çözeltiler için, çözeltinin molalitesi ile orantılı olup (Eşitlik 13-5 ve 13-6) orantı sabitleri K_d ve K_k dir (Çizelge 13.2). Donma noktası alçalması, çok eski dönemlerden beri mol kütlelerinin belirlenmesi için kullanılan oldukça yaygın bir yöntemdir.

13-9 Elektrolit Çözeltiler—Elektrolit çözeltilerin sayısal özelliklerinin hesaplanması, elektrolit olmayan çözeltilere göre daha zordur. Elektrolit çözeltilerdeki çözünmüş tanecikler iyonlar ya da iyon ve moleküllerdir. Eşitlik (13.5) ve (13.6) yı kullanarak yapılan hesaplamalar, taneciklerin toplam sayısı esas alınarak yapılmalı, yani van't Hoff faktörü eşitliklere eklenmelidir. Derişimler, seyreltik çözeltiler dışındaki bütün çözeltilerde, iyonlar arası etkileşimleride dikkate alan etkinlik katsayısı ile verilmektedir.

13-10 Kolloidal Karışımlar—**Kolloidler** gerçek çözeltiler ile heterojen karışımlar arasında yer alan önemli ara hallerdir. Kolloidal karışımlar birçok alışılmadık olaydan sorumludur (Şekil 13-21). Kolloidler canlı organizmalardaki sıvılardan, büyük hava kütlelerinde kirliliğe neden olan maddelere kadar çok geniş bir alanda karşımıza çıkarlar (Çizelge 13-4).

Pekiştirici Örnek

Benzen [$C_6H_6(s)$] içerisinde naftalin [$C_6H_8(k)$] çözünerek hazırlanmış olan 50,00 g lik çözeltinin donma noktası 4,45 °C ölçülmüştür. Çözeltideki $C_{10}H_8$'in kütlece yüzdesini ve bu çözeltinin kaynama noktasını hesaplayınız.

Analiz

Bir çözeltinin donma noktası ile molalitesi arasındaki bağıntı eşitlik 13.5 de verilmiştir. Ancak, çözeltideki her bir bileşenin kütlesini ve kütlece yüzde bileşimini hesaplayabilecek cebirsel bir yol bulmalıyız. Çözeltinin kaynama noktası en kolay eşitlik (13.6) kullanılarak hesaplanabilir.

Çözüm

Benzen için Çizelge 13.2 den aldığımız ek verileri (K_d= 5,12 °C m^{-1}, dn = 5,53 °C) ve çözeltinin soruda verilen ölçülmüş donma noktasını eşitlik (13.5)'te yerine koyunuz.

$$\Delta T_d = -K_d \times m$$
$$(4{,}45 - 5{,}53)\ °C = -5{,}12\ \text{kg mol}^{-1}\ °C \times m$$
$$1{,}08 = 5{,}12\ \text{kg mol}^{-1} \times m$$

Çözeltinin molalitesini, naftalinin kütlesi (x), benzenin kütlesi (y) cinsinden yazınız ve naftalinin mol kütlesi (128,2 g $C_{10}H_8$/mol) cinsinden yazınız.

$$m = \frac{x\ \text{g } C_{10}H_8}{128{,}2\ \text{g } C_{10}H_8/\text{mol}}$$
$$\overline{y\ \text{g } C_6H_6 \times 1\ \text{kg}/1000\ \text{g } C_6H_6}$$

Toplam kütle 50,00 g olduğundan $x + y$ = 50,00 g'dır. y= 50,00 – x değerlerini yukarıdaki eşitlikte yerine yazalım.

$$m = \frac{\text{mol } C_{10}H_8}{\text{kg } C_6H_6} = \frac{(x/128{,}2)}{(50{,}00 - x)/1000}\ \text{mol kg}^{-1}$$

Şimdi, molalite için elde ettiğimiz yukarıdaki eşitliği, eşitlik (13.5)'den türettiğimiz eşitlikle birleştirelim.

$$1{,}08 = 5{,}12 \times \frac{(x/128{,}2)}{(50{,}00 - x)/1000}$$

Buradan x'in değerini, yani, naftalinin g olarak kütlesini bulabiliriz.

$$\frac{1{,}08 \times 128{,}2}{5{,}12 \times 1000} = \frac{x}{50{,}00 - x}$$
$$0{,}0270 = \frac{x}{50{,}00 - x}$$
$$1{,}0270x = 0{,}0270 \times 50{,}00$$
$$x = 1{,}31$$

Çözeltideki naftalinin kütlece yüzdesi

$$\%C_{10}H_8 = \frac{1{,}31\ \text{g } C_{10}H_8}{50{,}00\ \text{g çözl.}} \times 100\% = \%2{,}62$$

Çözeltinin kaynama noktasını bulmak için, önce çözeltinin molalitesini eşitlik (13.5)'i çözerek bulalım.

$$\text{molarite} = \frac{\Delta T_d}{-K_d} = \frac{-1{,}08\ °C}{-5{,}12\ °C\ m^{-1}} = 0{,}211\ m$$

Kaynama noktasında ve donma noktasında molalite aynı olduğu için 0,211 m değerini eşitlik (13.6)'da yerine koyup, ΔT_k'yi hesaplayınız.

$$\Delta T_k = K_k \times m = 2{,}53\ °C\ m^{-1} \times 0{,}211\ m = 0{,}534\ °C$$

Çözeltinin kaynama noktası benzenin normal kaynama noktası olan 80,10 °C'den, 0,534 °C daha yüksektir.

$$80{,}10\ °C + 0{,}53\ °C = 80{,}63\ °C$$

Değerlendirme

Çözelti kütlesi 0,01 g duyarlılıkla ve dört anlamlı rakamla kolaylıkla belirlenebilir. Aynı şekilde, çözeltinin donma noktası da 0,01 °C duyarlılıkla saptanabilir. Halbuki, iki sayı arasındaki farka dayanarak bulunan donma noktası alçalması değeri (–1, 08 °C) yalnızca yüzde bir duyarlılıkla verilebilir. Anlamlı rakam kurallarına göre, hesaplamanın geri kalan bölümünde üç anlamlı rakam kullanma olanağı olsa da, hesaplanan miktarların kesinliği yalnızca yüzde bir kadardır. Kaynama noktasının bulunması için gereken ΔT_k değerini sadece iki anlamlı rakamla ifade etmek gerektiğinden, kaynama noktası için hesaplanan son değer olan 80,63 °C oldukça doğru verilmiş bir sonuçtur. 0,211 m çözeltinin, 13,5 ve 13.6 eşitliklerine uyacak kadar seyreltik ve ideal bir çözelti olduğuna farz ediyoruz.

ALIŞTIRMA A: Su ve fenol, 66,8 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tamamen karışabilirken, 66,8 °C'nin altındaki sıcaklıklarda kısmen karışırlar. 50,0 g su ve 50,0 g fenolle 29,6 °C'de hazırlanan bir karışımda, kütlece % 92,50 su ve % 7,50 fenol içeren 32,8 g'lık bir faz elde edilir. Bu faz fenolün sudaki doygun çözeltisidir. Suyun fenolde-

ki doygun çözeltisi olan ikinci fazdaki kütlece su yüzdesi nedir? 66,8 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, karışımdaki fenolün mol kesri nedir?

ALIŞTIRMA B: 25,00 °C sabit sıcaklıkta, kuru bir hava akımı saf sudan ve ardından bir kurutma tüpünden (D_1) geçirildikten sonra, 1,00 *m* sakkaroz ve başka bir kurutma tüpünden (D_2) geçiriliyor. Deney sonunda D_1'in kütlesi 11,7458 g artarken, D_2'nin kütlesi 11,5057 g artmıştır. Suyun 25,00 °C de buhar basıncı 23,76 mmHg olduğuna göre, (a)1,00 *m* sakkarozdaki buhar basıncı düşmesi ne kadardır? (b) Beklenen buhar basıncı düşmesi ne kadardır?

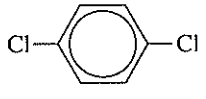
MasteringCHEMISTRY

www.masteringchemistry.com adresinden, bu konu ile ilgili ilave çalışma sorularına ulaşabilirsiniz

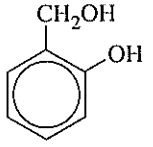
Alıştırmalar

Homojen ve Heterojen Karışımlar

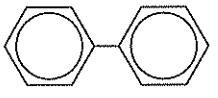
1. Aşağıdaki bileşiklerden suda en çok çözünen hangisidir? Neden? $C_{10}H_8(k)$, $NH_2OH(k)$, $C_6H_6(s)$, $CaCO_3(k)$.
2. Aşağıdakilerden hangisinin hem suda, hem de benzende [C_6H_6 (s)] kısmen çözünmesini beklersiniz? Neden? (a) 1-butanol, $CH_3(CH_2)_2CH_2OH$; (b) naftalin, $C_{10}H_8$; (c) heksan, C_6H_{14}; (d) NaCl(k).
3. Suda çözünen bileşikler genellikle benzende çözünmezler. Ancak, bazı bileşikler her ikisinde de kısmen çözünebilirler. Aşağıdaki bileşiklerden hangisi bu özelliği taşımaktadır? Nedenini açıklayınız.



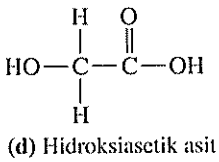
(a) *para*-Diklorbenzen (güve kovucu)



(b) Salisil alkol (lokal anestezide kullanılır)

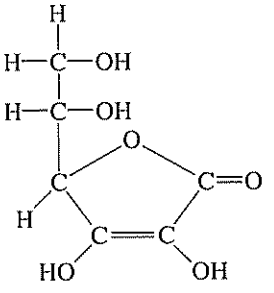


(c) Difenil (ısı transfer maddesi)

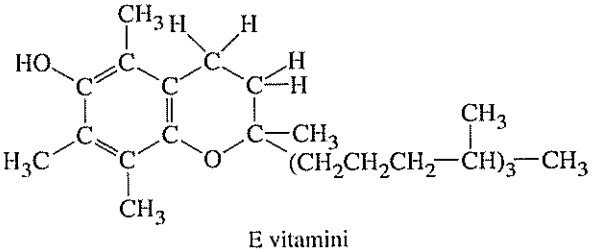


(d) Hidroksiasetik asit (tekstil boyamada kullanılır)

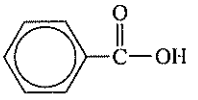
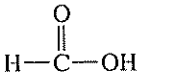
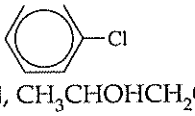
4. Bazı vitaminler suda, bazıları yağda çözünürler. (Yağlar, uzun hidrokarbon zincirleri taşıyan bileşiklerdir.) Aşağıda biri yağda, diğeri suda çözünen iki vitaminin yapı formülü verilmiştir. Bunların hangisinin yağda, hangisinin suda çözündüğünü, nedenini belirterek açıklayınız.



C vitamini



E vitamini

5. Aşağıda verilen bileşiklerden ikisi suda çok çözünürken, ikisi çok az çözünür ve ikisi hiç çözünmez. Bu özelliklere sahip bileşikleri belirtiniz.
   (a) iyodoform, CHI_3
   (b) benzoik asit, 
   (c) formik asit, 
   (d) 1-butanol, $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$
   (e) klorbenzen, 
   (f) propilen glikol, $CH_3CHOHCH_2OH$

6. Benzoik asit, C_6H_5COOH bileşiği NaOH(suda) çözeltisinde saf suda çözündüğünde çok daha fazla çözünür. Bunu nasıl açıklarsınız? Benzoik asidin yapı formülü Alıştırma 5 (b) de verilmiştir.
7. Sayfa 566-567 de verilen faktörlerin ışığında aşağıdaki iyonik florürlerin hangisinin litre başına mol olarak suda daha çok çözünmesini beklersiniz? MgF_2, NaF, KF, CaF_2. Nedenini açıklayınız.
8. Bir çok metal sülfür suda çözünmediği halde, bütün metal nitratlar suda çözünür. Nedenini açıklayınız. Metal sülfürler içinde suda en çok çözünenin hangisi olmasını beklersiniz?

Yüzde Derişim

9. NaBr ün 20 °C deki doygun sulu çözeltisi, 116 g NaBr/ 100 g H_2O içermektedir. Çözeltinin bileşimini kütlece yüzde, yani 100 gram çözeltide çözünen NaBr ün gram cinsinden miktarı şeklinde belirtiniz.
10. 12,8 mL $CH_3CH_2CH_2OH$ (d = 0,803 g/mL), yeteri kadar suda çözülerek, çözelti hacmi 75,0 mL ye tamamlanmış ve yoğunluğu 0, 988 g/mL olan sulu bir çözelti hazırlanmıştır. Çözeltideki $CH_3CH_2CH_2OH$ yüzdesini **(a)** hacim yüzdesi **(b)** kütle yüzdesi **(c)** (kütle/hacim) yüzdesi cinsinden belirtiniz.
11. Tuzlu su çözeltisi kütlece % 3,87 oranında NaCl içerir. 75,0 mL tuzlu suyun ağırlığı 76,9 g dır. 725 kg NaCl elde etmek için buharlaştırılması gereken çözelti hacmi kaç litredir?
12. 125,0 mL, 0,0321 M $AgNO_3$ çözeltisi hazırlamak istediğimizi düşünelim. Böyle bir çözelti hazırlamak için kütlece % 99,81 lik $AgNO_3$ dan kaç gram kullanmanız gerekir?
13. Örnek 13-1 e göre, etanolün sulu bir çözeltisindeki kütlece yüzdesi, aynı çözeltideki hacimce yüzdesinden küçüktür. Bu *bütün* etanol-su çözeltileri için de doğrudur. Nedenini açıklayınız. Bu bilgi, diğer bileşen ne olursa olsun, bütün etanol çözeltileri için de doğru mudur? Açıklayınız.
14. Kan kolestrol düzeyleri genel olarak kanın desilitresi başına kolestrolün miligramı cinsinden belirtilir. Kolestrol düzeyi 176 olan bir kan örneğinde, kolestrolün kütlece yüzdesi nedir?
15. Sirke kütlece % 6,02 asetik asittir (CH_3COOH). 355 mL lik bir sirke şişesinde kaç gram CH_3COOH vardır? Yoğunluğu 1,01 g/mL olarak kabul ediniz.
16. 6,00 M sülfürik asidin, H_2SO_4 (suda), yoğunluğu 1,338 g/mL dir. Bu çözeltideki sülfürik asidin kütlece yüzdesi nedir?
17. Bir şehir şebeke suyunun sülfat iyonu düzeyi 46,1 ppm olarak verilmektedir. Sudaki $[SO_4^{2-}]$ ne kadardır?
18. Bir su örneğinin 9,4 ppb kloroform; ($CHCl_3$) içerdiği bulunmuştur. Bu su ile dolu bir bardak suda (250 mL) kaç gram $CHCl_3$ bulunacaktır?

Molarite

19. Kütlece % 6,00 metanol (CH_3OH) içeren sulu bir çözeltinin yoğunluğu, d = 0,988 g/mL dir. CH_3OH ün bu çözeltideki molaritesi nedir?
20. Ticari bir sulu fosforik asit çözeltisi kütlece % 75 fosforik asit içerir ve yoğunluğu 1,57 g/mL dir. Bu çözeltideki H_3PO_4 ın molaritesi nedir?
21. 0,235 M, 825 mL CH_3CH_2OH çözeltisi hazırlamak için, Örnek 13-1 de verilen etanol-su çözeltisinden kaç mL alınıp su ile seyreltilmelidir?
22. Suda kütlece %30,00 nitrik asit, (HNO_3) içeren bir çözeltinin 20 °C deki yoğunluğu 1,18 g/cm^3 tür. HNO_3 in bu çözeltideki molaritesi nedir?
23. 25 °C de bir litresinde yaklaşık 280 ppm CO_2 içeren deniz suyundaki CO_2 in molaritesi nedir? Deniz suyunun yoğunluğu; 1027 kg/m^3 dür.
24. 25 °C de ve % 0 tuzluluktaki bir denizde oksijen miktarı 5,77 mL/L dir. Bu koşullarda denizdeki oksijenin molaritesi nedir?

Molalite

25. 2,65 g *para*-diklorbenzenin ($C_6H_4Cl_2$) 50,0 mL benzende (d = 0,879 g/mL)çözülmesiyle hazırlanan bir çözeltide, $C_6H_4Cl_2$ in molalitesi nedir?
26. Alıştırma 16 da tanımlanan sülfürik asit çözeltisinin molalitesi nedir?
27. 0,236 m çözelti hazırlamak için 725 mL karbon disülfür, CS_2 (d = 1,261 g/mL), içinde kaç gram I_2 çözülmelidir?
28. 1,00 kg lık, 1,38 m CH_3OH(suda) çözeltisindeki CH_3OH molalitesini 1,00 m a düşürmek için çözeltiye kaç gram su eklenmelidir?
29. Kütlece % 34,0 lık sulu H_3PO_4 çözeltisinin yoğunluğu, 1,209 g/mL dir. Bu çözeltinin molaritesi ve molalitesi nedir?
30. Suda kütlece %10,00 CH_3CH_2OH içeren çözeltinin 15 °C deki yoğunluğu 0,9831 g/mL, 25 °C deki yoğunluğu ise 0,9804 g/mL dir. Her iki sıcaklıkta etanol-su çözeltisinin molalitesini hesaplayınız. İki sıcaklıktaki (15 ve 25°C da) molaliteler farklı mıdır? Molaritelerin farklı olmasını bekler misiniz? Açıklayınız.

Mol Kesri, Mol Yüzdesi

31. 1,28 mol C_7H_{16}, 2,92 mol C_8H_{18} ve 2,64 mol C_9H_{20} karıştırılmasıyla bir çözelti hazırlanmıştır. Çözeltideki her bir bileşenin **(a)** mol kesri **(b)** mol yüzdesi nedir?
32. Aşağıdaki sulu çözeltilerde çözünenin mol kesrini hesaplayınız: **(a)** Kütlece % 21,7 CH_3CH_2OH; **(b)** 0,684 m $CO(NH_2)_2$ (üre).

33. Aşağıda verilen sulu çözeltilerdeki çözünenlerin mol kesirlerini hesaplayınız.
(a) 0,112 M $C_6H_{12}O_6$ (d = 1,006 g/mL) **(b)** hacimce % 3,20 lik etanol (d = 0,993 g/mL); Saf CH_3CH_2OH için d = 0,789 g/mL dir.
34. Örnek 13-1de, (d) seçeneğinde tanımlanan çözeltideki CH_3CH_2OH mol kesrini 0,0525 e çıkarmak için çözeltinin 100 mL sine kaç gram CH_3CH_2OH eklenmelidir?
35. Mol yüzdesi %4,85 olan gliserin, $CH_2(OH)CH(OH)CH_2OH$ (d = 1,26 g/mL) çözeltisi hazırlamak için, bir kilogram suya hacimce ne kadar gliserin eklenmelidir?
36. Sakkarozun, $C_{12}H_{22}O_{11}$, iki sulu çözeltisi karıştırılmıştır. Çözeltilerden biri, 0,1487 M $C_{12}H_{22}O_{11}$ çözeltisi olup, yoğunluğu, d = 1,018 g/mL dir. Diğer çözelti, kütlece % 10,00 $C_{12}H_{22}O_{11}$ içermektedir ve yoğunluğu, d = 1,038 g/mL dir. Çözelti karışımındaki $C_{12}H_{22}O_{11}$ mol yüzdesini bulunuz.
37. Çevre Koruma Kurumunun içme sularındaki kurşun için koyduğu sınır değer 15 ppm dir. 20 °C de 15 ppm kurşun içeren 1,000 mL su örneğinde kaç tane kurşun iyonu vardır? Çözeltideki kurşun iyonunun mol kesri nedir?
38. Denizdeki CO_2 miktarı yaklaşık 280 ppm dir. 1 litre deniz suyundaki CO_2 nin mol kesri nedir?

Çözünürlük Dengesi

39. Şekil 13-8 i göz önüne alarak 40 °C deki doymuş NH_4Cl çözeltisinin molalitesini bulunuz.
40. Şekil 13-8 e göre, $KClO_4$ ın doymuş sulu çözeltisinde molalitenin 0,200 m olması için sıcaklık ne olmalıdır?
41. 500,0 g suda 20,0 g $KClO_4$ çözülüyor ve sıcaklık 40 °C ye getiriliyor.
(a) Şekil 13-8 e bakarak, 40 °C de çözeltinin doymamış bir çözelti mi, yoksa aşırı doymuş bir çözelti mi olduğunu belirtiniz.
(b) Eğer çözelti doymamışsa, doymuş hale getirmek için kaç gram $KClO_4$ eklenmeli, çözelti aşırı doymuş ise, ne kadar $KClO_4$ kristallendirilmelidir?
42. Bir çözüneni, çözeltiden yeniden kristallendirme yollarından biri sıcaklığı değiştirmek diğeri ise çözeltiden çözücüyü buharlaştırmaktır. 25 °C de KNO_3 (k) nın suda çözülmesiyle 335 g doymuş bir çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltinin sıcaklığı 25,0 °C den 0,0 °C ye düşürülürken, aynı zamanda çözeltiden 55 g H_2O buharlaştırılırsa, ne kadar KNO_3 (k) yeniden kristallenecektir? (Şekil 13-8 e bakınız.)

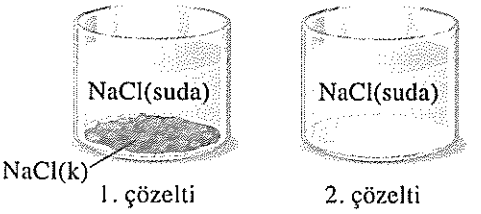
Gazların Çözünürlüğü

43. 1,00 atm O_2(g) basıncı altında, 25 °C de 1,00 L H_2O da, 28,31 mL O_2(g) çözünür. O_2 basıncı 3,86 atm olduğunda 25 °C deki doymuş çözeltide O_2 nin molaritesi ne olur? (Çözelti hacminin 1 L olarak kaldığını kabul ediniz.)
44. Alıştırma 43 deki verileri kullanarak, normal atmosfer basıncındaki hava ile dengede olan sulu bir çözeltide O_2 nin molaritesini bulunuz. [*İpucu*: Eşitlik (6.17) yi hatırlayınız.]
45. Doğal gaz %90 metan (CH_4) içerir. 25 °C ve 1 atm gaz basıncında doğal gazın sudaki çözünürlüğünün CH_4 çözünürlüğü (0,02 g/kg su) ile aynı olduğunu varsayınız. 20 atm basıncında bir doğal gaz örneği 1,00 × 10^3 kg su ile etkileştirildiğinde, çözünen doğal gazın kütlesi ne olur?
46. 1,00 atm basınçta O_2 gazının sudaki çözünürlüğü 0 °C de 2,18 × 10^{-3} M ve 25 °C de 1,26 × 10^{-3} M dır. O_2 ile doymuş haldeki 515 mL su, 0 °C den 25 °C ye ısıtıldığında açığa çıkan O_2 (g) hacmi, 25 °C ve 1,00 atm basınçta kaç mL gelir?
47. Argonun (Ar) 20 °C ve 1,00 atm basınçta sudaki çözünürlüğü, bu gazın standart sıcaklık ve basınçta (STP) ölçülen sudaki çözünürlüğü 33,7 mL Ar (g)/L su ile eşdeğerdir. 1,00 atm basınçta ve 20 °C de hava ile doyurulmuş sudaki argonun molaritesi kaçtır? Hava hacimce % 0,934 Ar içerir. Suyun hacminin hava ile doyurulduğunda değişmediğini varsayınız.
48. CO_2 in 20 °C de ve 1,00 atm basınçta sudaki çözünürlüğü, bu gazın standart sıcaklık ve basınçta (STP), ölçülen sudaki çözünürlüğü 87,8 mL CO_2 (g)/100 mL su ile eşdeğerdir. 20 °C de, 1,00 atm basınçta hava ile doygun haldeki suda CO_2 in molaritesi ne kadardır? Havada CO_2 in hacim yüzdesi % 0,0360 dır. Hava ile doyduğunda suyun toplam hacminin değişmediğini varsayınız.
49. Henry yasası şöyle ifade edilebilir: Sabit sıcaklıkta, belirli bir miktardaki çözücüde çözünen bir gazın kütlesi, gazın basıncıyla doğru orantılıdır. Bu ifadenin (13.2) eşitliği ile ilişkisini gösteriniz.
50. Henry yasasının diğer bir ifade yolu da şudur: Sabit sıcaklıkta, belirli miktardaki sıvıda çözünen gaz hacmi, tüm basınçlarda aynıdır. Bu ifade ile, Alıştırma 49 da verilen ifade nasıl bağdaştırılır? İkinci ifade hangi koşullarda geçersizdir?

Raoult Yasası ve Sıvı-Buhar Dengesi

51. 35,8 g benzen (C_6H_6) ve 56,7 g toluenin ($C_6H_5CH_3$) 25 °C de karıştırılmasıyla hazırlanan bir çözeltide, çözelti bileşenlerinin kısmi buhar basınçları ve çözeltinin toplam buhar basıncı nedir? 25 °C de benzenin buhar basıncı 95,1 mm Hg, toluenin buhar basıncı ise, 28,4 m Hg dır.
52. Alıştırma 51 de tanımlanan benzen-toluen çözeltisi üzerindeki buharın bileşimi nedir?
53. 685 g suda, 165 g *uçucu olmayan* bir çözünen, (glukoz, $C_6H_{12}O_6$) içeren bir çözeltinin 25 °C deki buhar basıncını hesaplayınız. Suyun 25 °C deki buhar basıncı, 23,8 mm Hg dır.

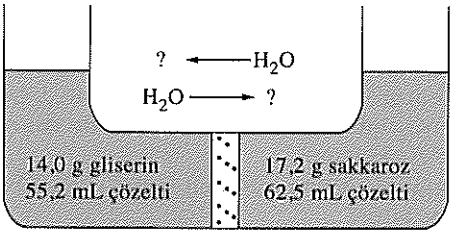
54. *Uçucu olmayan* bir çözünen olan ürenin [$CO(NH_2)_2$], CH_3OH çözücüsündeki doymuş çözeltisinin 20 °C deki buhar basıncını hesaplayınız. 100 mL metanolde 17 g üre çözünür. Metanolün yoğunluğu 0,792 g/mL ve 20 °C deki buhar basıncı 95,7 mm Hg dır.
55. Polistiren plastiklerinin eldesinde kullanılan, stiren, etilbenzenden hidrojen atomlarının çıkarılmasıyla (dehidrojenasyonla) elde edilir. Elde edilen ürün, kütlece yaklaşık % 38 stiren ($C_6H_5CH{=}CH_2$) ve % 62 etilbenzen ($C_6H_5CH_2CH_3$) içermektedir. Karışım 90 °C de ayrımsal damıtma ile ayrılabilir. % 38 stiren, % 62 etilbenzenden oluşan bu karışım ile 90 °C de dengede bulunan buharın bileşimini bulunuz. 90 °C de etilbenzenin buhar basıncı 182 mm Hg, stirenin 134 mmHg dır.
56. 25 °C de buhar fazı ile dengede olan bir benzen-toluen sıvı çözeltisinin dengedeki buhar fazı mol olarak % 62,0 C_6H_6 içermektedir. Çözeltideki benzenin mol kesrini ($x_{C_6H_6}$) hesaplayınız (Alıştırma 51 deki verileri kullanınız).
57. $x_{\text{benzen}} = 0{,}300$ olan bir benzen-toluen karışımının normal kaynama noktası 98,6 °C, saf toluenin 98,6 °C de buhar basıncı 533 mm Hg dır. Saf benzenin 98,6 °C de buhar basıncı ne kadar olmalıdır? (Çözeltinin ideal davrandığını kabul ediniz.)
58. Aşağıda, aynı sıcaklıkta bulunan iki NaCl(suda) çözeltisi görülmektedir.



(a) Hangi çözeltinin üzerindeki suyun buhar basıncı (P_{H_2O}) daha yüksektir? Açıklayınız.
(b) Çözeltilerden birinde P_{H_2O} değeri, bir kısım su buharlaştırılırsa bile *sabit* kalır. Bu çözelti hangisidir? Açıklayınız.
(c) Bu çözeltilerden hangisinin kaynama noktası daha *yüksektir*? Açıklayınız.

Osmotik Basınç

59. 0,72 g polivinil klorür (PVC), 25 °C de, 250 mL çözücü içinde çözülmüştür. Çözeltinin osmotik basıncı 1,67 mm Hg dır. PVC nin mol kütlesi nedir?
60. Şekil 13-17 de gördüğünüze benzer bir düzenekte, kütlece % 20 lik sakkaroz ($C_{12}H_{22}O_{11}$) içeren sulu bir çözeltinin boru içindeki seviyesinin 150 m yüksekliğe kadar ulaşmasını doğrulayınız.
61. Kesme çiçeklerin sapları derişik NaCl(suda) içine daldırılırsa çiçekler solar. Benzer bir çözeltiye taze salatalık konursa biraz büzüşür (turşu olur). Bu olayların temel nedenlerini açıklayınız.
62. Bazı balıklar tuzlu suda, bazıları da tatlı suda yaşar, fakat her iki balık çeşidi de yaşamak için suya gereksinim duyar. Tuzlu suda yaşayan balık su içtiği halde, tatlı su balığı içmez. Bu iki balık çeşidi arasındaki farkı açıklayınız.
63. Bir çözeltinin 273 K deki osmotik basıncının 1 atm olabilmesi için, elektrolit olmayan 1 mol bileşiğin, çözünmesi gereken su hacmi ne kadardır? Bu sonuca uyan gaz yasası hangisidir?
64. Hemoglobinin molekül kütlesi $6{,}86 \times 10^4$ akb dir. 25 °C de osmotik basıncı 7,25 mm Hg olan bir çözeltinin 100,0 mL sinde kütlece ne kadar hemoglobin bulunmalıdır?
65. Yapay kauçuk yapımında kullanılan poliizobutilenin 0,50 g lık bir örneğinin benzende çözünmesiyle elde edilen 100,0 mL lik bir çözeltisinin 25 °C deki osmotik basıncı, yoğunluğu 0,88 g/mL olan çözeltiyi 5,1 mm lik bir kolonda tutabilmektedir. Poliizobutilenin mol kütlesi nedir? (Hg için d = 13,6 g/mL.)
66. İzotonik bir tuz çözeltisinin derişimini %0,92 NaCl (kütle/hacim) alarak, vücut sıcaklığında kanın (37,0 °C) osmotik basıncını hesaplayınız. [*İpucu:* NaCl ün sulu çözeltide tümüyle ayrıştığını varsayınız.]
67. Şekil 13-18 deki tuzlu su çözeltisi kütlece %2,5 NaCl içerirse, ters osmoz için gerekli basınç yaklaşık ne kadardır? [*İpucu:* Sulu çözeltide NaCl ün tamamen ayrıştığını varsayınız. Sıcaklığı 25 °C kabul ediniz.]
68. Aşağıdaki resimde iki çözelti yalnız su moleküllerinin geçişine uygun yarı-geçirgen bir zar ile ayrılmıştır. Burada suyun net akışı sağdan sola doğru mu, yoksa soldan sağa doğru mudur? Gliserinin formülü $HOCH_2CH(OH)CH_2OH$, sakkarozun formülü $C_{12}H_{22}O_{11}$ dir.



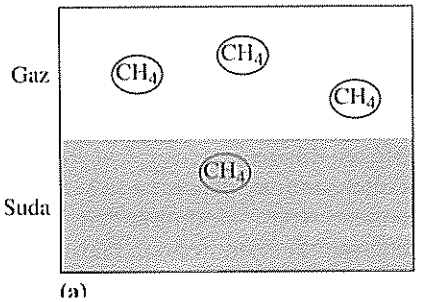
Donma Noktası Alçalması ve Kaynama Noktası Yükselmesi

69. 1,10 g bilinmeyen bir bileşik, 75,22 g benzenin donma noktasını 5,53 °C den 4,92 °C ye düşürmektedir. Bu bileşiğin mol kütlesi nedir?
70. Uçucu olmayan bir çözünenin 0,010 *m* sulu çözeltisinin donma noktası, - 0,072 °C dir. Aynı çözeltinin normal kaynama noktasının ne olmasını beklersiniz?
71. 80,0 g sikloheksana (C_6H_{12}) 1,00 g benzen, (C_6H_6) eklenmesi, sikloheksanın donma noktasını 6,5 °C den 3,3 °C ye düşürür.
(a) Sikloheksanın K_d değeri nedir?
(b) Donma noktası alçalmasından yararlanarak mol kütlesinin belirlenmesinde benzen mi, yoksa sikloheksan mı daha iyi bir çözücüdür, açıklayınız.

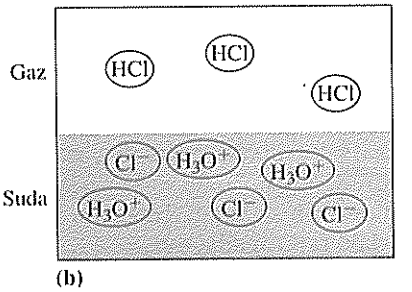
72. Suyun 749,2 mm Hg basınçtaki kaynama noktası 99,60 °C dir. Bu basınçta suyun kaynama noktasını 100,00 °C ye çıkarmak için, suda bulunması gereken sakkarozun ($C_{12}H_{22}O_{11}$) kütlece yüzdesi ne olmalıdır?
73. Bir bileşik kütlece %42,9 C, %2,4 H, %16,7 N ve %38,1 O içermektedir. Bu bileşiğin 6,45 gramı 50,0 mL benzene, C_6H_6 (d = 0,879 g/mL), eklendiğinde, benzenin donma noktası 5,53 °C den 1,37 °C ye düşmektedir. Bileşiğin molekül formülünü bulunuz.
74. Nikotinamid metabolizma için önemli bir vitamin olup, suda çözünür. Bu vitaminin eksikliği pellagra denen bir hastalığa neden olur. Nikotinamid kütlece %59,0 C, %5,0 H, %22,9 N, %13,1 O içermektedir. 3,88 g nikotinamidin 30,0 mL nitrobenzene, $C_6H_5NO_2$ (d = 1,204 g/mL), eklenmesi ile donma noktası 5,7 C°den –1,4 C° ye düşer. Bu bileşiğin molekül formülü nedir?
75. Tiyofen (dn –38,3 °C kn 84,4 °C) kükürt içeren bir hidrokarbon olup, bazen benzen yerine çözücü olarak kullanılır. 2,348 g lık bir tiyofen yakıldığında 4,913 g CO_2, 1,005 g H_2O ve 1,788 g SO_2 elde edilmektedir. 0,867 g lık bir tiyofen 44,56 g benzen (C_6H_6) içinde çözüldüğünde, çözeltinin donma noktasında 1,183 °C lik bir düşme olmaktadır. Tiyofenin molekül formülünü bulunuz.
76. Koniferin, koniferler olarak bilinen kozalaklı ağaçlarda bulunan bir glikozittir (bir şeker türevi). 1,205 g lık bir koniferinin yanma analizi (Kesim 3-3) ürünleri 0,698 g H_2O ve 2,479 g CO_2 olarak bulunmuştur. 2,216 g koniferinin 48,68 g H_2O da çözülmesiyle elde edilen çözeltinin normal kaynama noktası 100,068 °C dir. Koniferinin molekül formülünü bulunuz.
77. Aşçılar suya kaynamadan önce genellikle bir miktar tuz eklerler. Bazılarına göre, tuz atmaktan amaç, suyun kaynama noktasını yükselterek pişirme işlemini kolaylaştırmaktır. Bazı kişiler ise, suya kaynama noktasında belirgin bir değişikliğe yetecek kadar tuz eklenemeyeceğini ileri sürerler. 1 atm basınçta, bir litre suyun kaynama noktasını 2 °C arttırmak için suya yaklaşık kaç gram NaCl eklenmelidir? Bu miktar, yemek suyuna eklediğiniz tuz miktarına yakın mıdır?
78. Bir organik bileşiğin saf olup olmadığını anlamanın en önemli yollarından biri, erime noktasına bakmaktır. Eğer bileşik saf değilse, genellikle saf halinin erime noktasından *daha düşük* bir sıcaklıkta erimeye başlar.
    (a) Saf olmayan bileşiklerin erime noktaları niçin çoğu kez saf hallerinden daha düşük sıcaklıkta olur?
    (b) Safsızlık içeren bileşiklerin erime noktasının saf bileşikten *daha yüksek* olduğu durumlarda var mıdır? Açıklayınız.
79. Kuzey Buz denizindeki suyun donma noktası yaklaşık - 1,94 °C dir. Bir litre deniz suyundaki iyonların molalitesi nedir?
80. Deniz suyu % 3,5 tuz içeriyor olsaydı, donma noktası ne olurdu?

Kuvvetli Elektrolitler, Zayıf Elektrolitler ve Elektrolit Olmayan Çözeltiler

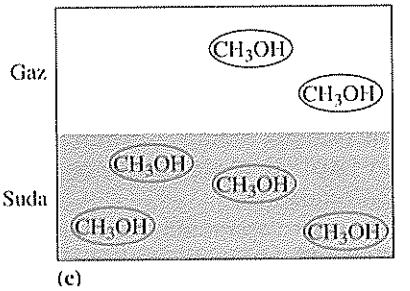
81. Aşağıdaki çözünenlerle hazırlanan 0,10 m sulu çözeltilerin yaklaşık donma noktalarını öngörünüz: **(a)** $CO(NH_2)_2$ (üre); **(b)** NH_4NO_3; **(c)** HCl; **(d)** $CaCl_2$; **(e)** $MgSO_4$; **(f)** C_2H_5OH (etanol); (g) $HC_2H_3O_2$ (asetik asit).
82. Aşağıdaki zayıf elektrolitlerin van't Hoff faktörlerini hesaplayınız.
    (a) –0,0986 °C da donmaya başlayan 0,050 m $HCHO_2$ çözeltisi;
    (b) Hidrojen iyonu ve nitrit iyonu derişimi 6,91 × 10^{-3} M olan, 0,100 M HNO_2 çözeltisi.
83. NH_3 (suda) elektrik akımını çok az iletir. Aynı şey asetik asit, $HC_2H_3O_2$(suda) için de geçerlidir. Oysa bu çözeltiler karıştırıldığında oluşan çözelti elektriği çok iyi iletir. Buna bir açıklama getiriniz.
84. NaCl ün izotonik bir çözeltisi %0,92 NaCl (kütle/hacim) içerir. Aynı derişimdeki KCl, $MgCl_2$ ve $MgSO_4$ gibi diğer tuz çözeltileri de izotonik midir? Açıklayınız.
85. Aşağıdaki gösterimlerden hangisi zayıf bir elektrolite aittir?



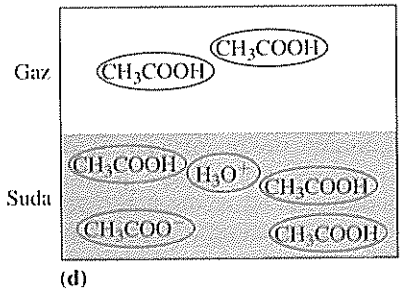
(a)



(b)

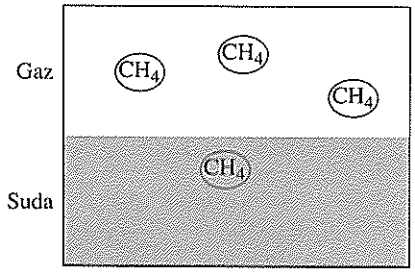


(c)

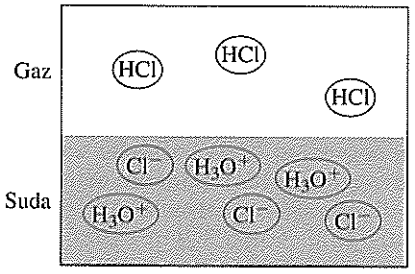


(d)

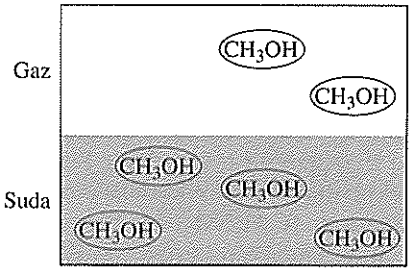
86. Aşağıdaki gösterimlerden hangisi kuvvetli bir elektrolite aittir?



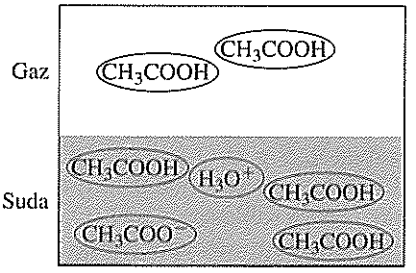
(a)



(b)



(c)



(d)

Pekiştirici ve İleri Alıştırmalar

87. Tipik kök birası kütlece %75 lik H_3PO_4 çözeltisinden %0,13 içerir. 12 oz luk kök birası kaç miligram fosfor içerir? Çözeltinin yoğunluğunu 1,00 g/mL; 1 oz = 29,6 mL alınız.

88. Bir sulu çözeltinin litresinde 109,2 g KOH vardır. Çözeltinin yoğunluğu 1,09 g/mL dir. Bu çözeltinin 100,0 mL sini alarak 0,250 *m* KOH çözeltisi hazırlamak için, 100,0 mL lik bu çözeltiye hangi bileşenden (KOH veya H_2O) kütlece ne kadar eklemelisiniz?

89. Alkollü içkilerin etanol içeriklerini belirtmek için "proof (kanıt)" terimi 17.yy da ilk kez İngiltere'de ortaya çıkışından beri kullanılmaktadır. O dönemlerde, bir viski örneği barut üzerine dökülür ve ateşe verilirdi. Viski yandıktan sonra barut ateş alırsa, viskiye su katılmadığı "kanıtlanmış" olurdu. Barutun ateş alabilmesi için viskinin hacimce en az %50 etanol içermesi gerekiyordu. Buradan çıkarak, %50 lik etanol çözeltisi "100 proof" olarak nitelendirilmeye başlandı. Buna göre, 80 proof viski hacimce % 40 etanol içerecektir. Aşağıda etanolün bazı sulu çözeltileri ve bunlara ilişkin bazı veriler verilmiştir. *Olabildiğince az hesap yaparak,* 100 proof'tan derişik olan çözeltileri belirleyiniz. Saf etanolün yoğunluğunu 0,79 g/mL alınız.

Etanolün Molaritesi, *M*	Çözelti Yoğunluğu, g/mL
4,00	0,970
5,00	0,963
6,00	0,955
7,00	0,947
8,00	0,936
9,00	0,926
10,00	0,913

90. Dört farklı derişimde, dört sulu aseton (CH_3COCH_3) çözeltisi hazırlanmıştır: **(a)** Kütlece % 0,100 CH_3COCH_3 ; **(b)** 0,100 M CH_3COCH_3; **(c)** 0,100 *m* CH_3COCH_3; **(d)** $x_{aseton} = 0{,}100$. Bu çözeltiler için 25 °C de buharı ile dengede olan suyun en yüksek kısmi basıncını bulunuz. Ayrıca, bu çözeltiler içinde en düşük donma noktasına sahip olanı bulunuz.

91. Katı bir karışım kütlece %85,0 KNO_3 ve %15,0 K_2SO_4 içermektedir. Bu katıdan alınan 60,0 g lık bir örnek 60 °C de 130,0 g suya eklenmiştir. Şekil 13-8 e bakarak;

(a) 60 °C de bütün katı çözünür mü?

(b) Oluşan çözelti 0 °C ye soğutulursa, kütlece ne kadar KNO_3 kristallenir?

(c) 0 °C de K_2SO_4 da kristallenir mi, bulunuz.

92. Elinizde kütlece %13,8 etanol (CH_3CH_2OH) içeren 2,50 L lik bir çözelti (d = 0,9767 g/mL) olduğunu varsayın. Bu çözeltiden yararlanarak, –2,0 °C ye kadar korunma sağlayan, *maksimum miktarda* etanol-sudan oluşan antifiriz çözeltisi hazırlamanız gerekiyor. Çözeltiye etanol mu, yoksa su mu eklersiniz? Eklediğiniz sıvının kütlesi nedir?

93. Hidrojen klorür renksiz bir gazdır. Derişik bir hidroklorik asit [HCl (der. suda)] şişesi açıldığında, şişeden sise benzer bir duman çıktığı görülür. Bunu nasıl açıklarsınız?

94. Suyun üçlü noktasının yaklaşık 0,0098 °C olduğunu aşağıdaki bilgileri kullanarak doğrulayınız.

(a) Suyun erime eğrisinin eğimi, buzun normal erime noktası civarında (Şekil 12-30), 0,00750 °C/atm dir.

(b) Havanın suda çözünürlüğü 1,0 atm basınç ve 0 °C de (STP de ölçülen) mL su başına 0,02918 mL dir.

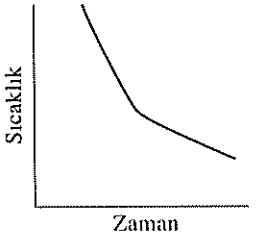
95. Stearik asit ($C_{18}H_{36}O_2$) ve palmitik asit ($C_{16}H_{32}O_2$) başlıca yağ asitlerindendir. Ticari stearik asit çoğu kez palmitik asit de içerir. 1,115 g ticari stearik asit 50,00 mL benzen (d = 0,879 g/mL) içinde çözüldüğünde, çözeltinin donma noktası 5,072 °C olarak bulunmuştur. Saf benzenin donma noktası 5,533 °C ve K_d değeri 5,12 °C m^{-1} dir. Stearik asit örneğindeki palmitik asidin kütlece yüzdesi nedir?

96. Nitrobenzen ($C_6H_5NO_2$) ve benzen (C_6H_6) birbiri içinde tamamen karışır. Bu iki sıvının diğer özellikleri şöyledir: *nitrobenzen* için dn = 5,7 °C, K_d = 8,1 °C m^{-1}; *benzen* için dn = 5,5 °C, K_d=5,12 °C m^{-1}. Bu iki sıvıdan, donma noktaları 0,0 °C olan *iki farklı* çözelti hazırlamak olasıdır. Nitrobenzenin bu çözeltilerdeki kütlece yüzdeleri nedir?

97. Şekil 13-16**(a)** yı gözönüne alınız. Başlangıçta A çözeltisi 92,5 g H_2O içinde çözünmüş 0,515 g üre, $CO(NH_2)_2$, B çözeltisi 85,0 g H_2O içinde çözünmüş 2,50 g sakkaroz, $C_{12}H_{22}O_{11}$ içermektedir. Dengeye erişildiğinde, yani her iki çözelti de aynı buhar basıncına sahip olduğunda, her iki çözeltinin bileşimleri ne olur?

98. Şekil 13-17 de, iki çözeltinin derişimi niçin *tam* eşit olduğunda değil de, *eşite yakın* olduğunda su geçişi durur?

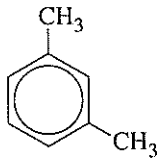
99. Aşağıda sulu bir çözeltinin tipik soğuma eğrisi verilmiştir. Bu grafikte neden saf suyun Şekil 12-23 de görülen soğuma eğrisindeki gibi doğrusal bir bölüm yoktur?



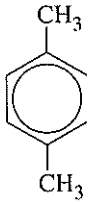
100. 1,00 mg altının 1,00 × 10^2 nm yarıçaplı küreler şeklinde dağılarak bir kolloit oluşturduğunu varsayınız. (Altının yoğunluğu 19,3 g/cm^3 tür.)
(a) Parçacıkların toplam yüzey alanı nedir?
(b) 1,00 mg lık tek bir altın kübünün yüzey alanı nedir?

101. 20 °C de sıvı benzenin yoğunluğu 0,879 g/cm^3, sıvı toluenin yoğunluğu 0,867 g/cm^3 tür. Çözeltileri ideal varsayınız.
(a) Hacimce yüzde 20, 40, 60 ve 80 benzen içeren çözeltilerin yoğunluklarını bulunuz.
(b) Hacimce yüzde bileşime karşı yoğunluğu grafiğe geçiriniz.
(c) 20 °C benzen-toluen çözeltilerinde yoğunlukla (d) benzenin hacim yüzdesi (V) arasında bir bağıntı yazınız.

102. Aşağıda yapı formülleri verilen iki bileşik birbirinin izomeridir. Petrolden ikisi birlikte elde edilir. *meta*-ksilen uçak yakıtlarında, boya ve insektisitlerin (böcek öldürücüler) üretiminde kullanılır. *para*-ksilenin başlıca kullanım alanı ise poliester reçineleri ve liflerin (örneğin, Dacron) üretimidir. Bu iki ksileni birbirinden ayırmak için ayrımsal damıtma yöntemi uygulanabilir mi? İki bileşiği ayırmak için kullanılabilecek başka yöntem ya da yöntemler varmıdır?



meta-ksilen
dn; –47,9 °C
kn; 139,1 °C
d; 0,864 g/mL



para-ksilen
dn; 13,3°C
kn; 138,4°C
d; 0,861g/mL

103. Bir antifriz (etilen glikol; dn –12,6 °C, kn 197,3 °C) şişesindeki talimatlar, 12 kuart (qt) lık bir soğutma sistemini farklı sıcaklıklardaki dondurucu soğuklara karşı korumak için, Preston denilen soğutucu bir maddenin belirtilen hacimlerde kullanılmasını önermektedir (geriye kalanı sudur): 10 °F, 3 qt; 0 °F, 4 qt; –15 °F, 5 qt; –34 °F, 6 qt. Antifriz miktarı arttıkça, soğutucunun donma noktası düştüğüne göre, donmaya karşı maksimum koruma sağlamak için, neden 6 qt den fazla etilen glikol (ve orantılı olarak daha az su) kullanılmaz?

104. Aşağıdaki ifadelerin doğruluğunu gösteriniz:
(a) *Seyreltik sulu* çözeltilerde molalitenin sayısal değeri molariteye eşittir.
(b) *Seyreltik çözeltilerde* çözünenin mol kesri molalite ile orantılıdır.
(c) *Seyreltik sulu* çözeltilerde çözünenin mol kesri molarite ile orantılıdır.

105. 25 °C de ve 1 atm O_2 (g) basıncı altında, O_2(g) in sudaki çözünürlüğü 28,31 mL/1,00 L H_2O iken, aynı koşullarda N_2 (g) un sudaki çözünürlüğü ise 14,34 mL/1,00 L H_2O dur. Atmosferin bileşimi hacimce % 78,08 N_2 ve %20,95 O_2 dir. 25 °C de suda çözünen havanın bileşimi, N_2 ve O_2 nin hacim yüzdeleri biriminde nedir?

106. Şekil 13-13 de belirttiğimiz üzere, benzen-toluen çözeltilerinin normal kaynama noktaları benzenin mol kesrine karşı grafiğe geçirildiğinde, sıvı ve buhar eğrileri birlikte ele alındığı zaman mercek biçiminde bir bölge oluşur. Yani, Şekil 13-12 nin aksine, sıvı eğrisi doğru bir çizgi değildir. Şekil 13-13 deki verileri kullanarak, bu durumu hesaplama yoluyla da doğrulayınız.

107. 70 °C de hazırlanan 100,0 g bir doymuş çözelti, 32,0 g $CuSO_4$ içermektedir. Bu derişimdeki çözeltiden 335 g lık bir örnek 0 °C ye soğutulduğunda $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ kristallenerek ayrılır. Eğer 0 °C deki doymuş çözeltinin derişimi 12,5 g $CuSO_4$/100 g çözelti ise, kütlece ne kadar $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ elde edilir? [*İpucu*: Çözeltinin bileşimi $CuSO_4$ cinsinden verilmiştir. Kristallenen katı ise, $CuSO_4 \cdot 5\,H_2O$ dur.]

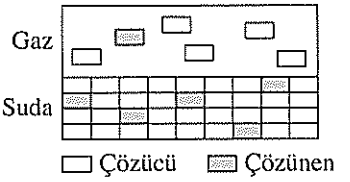
108. 25 °C sıcaklıktaki deniz suyundaki Ar derişimi 11,5 μM, Ar için Henry yasası sabiti ise 1,5 × 10^{-3} mol L^{-1} atm^{-1} dir. Bir litre deniz suyundaki Ar kütlesini ve argonun atmosferdeki kısmi basıncını hesaplayınız.

109. 25 °C sıcaklıktaki deniz suyundaki N_2 derişimi 445 μM, N_2 için Henry yasası sabiti ise 0,61 $\times$ 10^{-3} mol L^{-1} atm^{-1} dir. 1 Litre deniz suyundaki N_2 kütlesini ve N_2 un atmosferdeki kısmi basıncını hesaplayınız.

110. Bir çözelti 750 g etanol ve 85,0 g sakkaroz (180 g mol^{-1}) içermektedir. Bu çözeltinin hacmi 810,0 mL olduğuna göre;
(a) çözeltinin yoğunluğunu,
(b) çözeltideki sakkaroz yüzdesini,
(c) sakkarozun mol kesrini,
(d) çözeltinin molalitesini,
(e) çözeltinin molaritesini hesaplayınız.

111. –10 °C'de donan bir çözelti elde edebilmek için, 20,0 L su (K_d = 1,86 °C/*m*) üzerine eklenmesi gereken etilen glikol ($HOCH_2CH_2OH$, d = 1,12 g mL^{-1}) hacmi ne kadar olmalıdır?

112. Aşağıdaki şekilde beyaz kareler çözücü moleküllerini, renkli kareler çözünen moleküllerini göstermektedir.

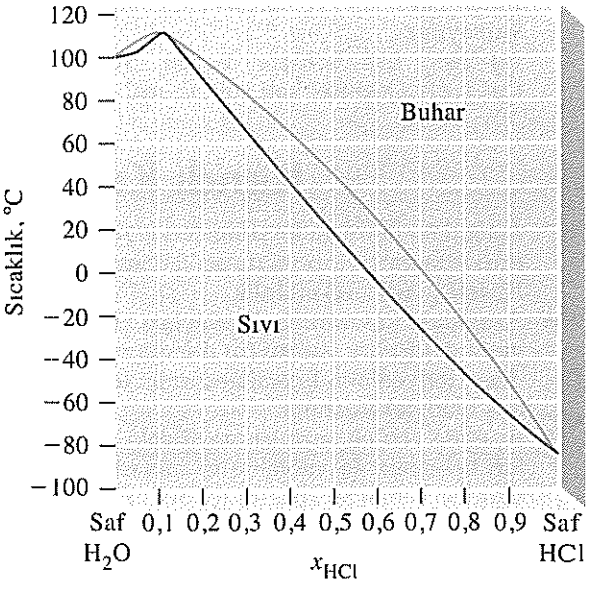


(a) Çözünenin sıvı fazdaki mol kesri kaçtır?
(b) Hangi bileşenin buhar basıncı daha yüksektir?
(c) Buhar fazındaki çözünen yüzdesi kaçtır?

Özellikli Sorular

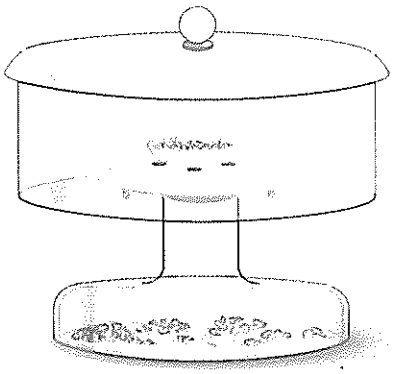
113. Sinnamaldehit, tropikal bölgelerde yetişen tarçın ağacının ince dal ve yapraklarından elde edilen tarçın yağının ana bileşenidir. Tarçın yağı, gıda tatlandırıcılarının üretiminde, parfüm ve kozmetiklerde kullanılır. Sinnamaldehidin ($C_6H_5CH{=}CHCHO$) normal kaynama noktası 246,0 °C dir. Ancak, bu sıcaklıkta bozunmaya başlar. Bu nedenle, sinnamaldehit normal damıtma ile kolaylıkla saflaştırılamaz. Bunun yerine *su buharı damıtması kullanılır*. Sinnamaldehit ve suyun heterojen karışımı, iki sıvının buhar basınçları, toplamı atmosfer basıncına eşit oluncaya kadar ısıtılır. Bu noktada sıvılar buharlaşmaya başlar ve sıcaklık sabit kalır. Buhar karışımı bir soğutucuda soğutulur ve karışmayan iki sıvı elde edilir. Bunlardan biri saf su, diğeri saf sinnamaldehittir. Sinnamaldehidin çeşitli sıcaklıklardaki buhar basınçları şöyledir: 76,1 °C de 1 mmHg; 105, 8 °C de 5 mmHg; 120,0 °C de 10 mmHg. Suyun buhar basınçları Çizelge 13.2 de verilmiştir.
(a) Su buharı damıtmasının meydana geldiği sıcaklık yaklaşık kaçtır?
(b) Buhardan yoğunlaşan iki sıvının oranları, her iki sıvı da kaynayan karışımda bulunduğu sürece, kaynayan karışımın bileşiminden *bağımsızdır*. Bunun nedenini açıklayınız.
(c) Su ve sinnamaldehit sıvılarından hangisinin yoğunlaşan miktarı kütlece daha fazladır, açıklayınız.

114. HCl ve H_2O karışımının 1 atm deki faz diyagramı aşağıda verilmiştir. Kırmızı eğri, farklı mol kesirlerinde HCl(suda) çözeltilerinin normal kaynama noktalarını gösterir. Mavi eğri, kaynayan çözeltiler ile dengede olan buharların bileşimlerini verir.
(a) x_{HCl}= 0,50 olan bir çözelti kaynamaya başladığında HCl in buhardaki mol kesri 0,50 den küçük mü, büyük mü, yoksa 0,50 ye eşit mi olacaktır? Açıklayınız.



(b) Saf bir sıvı kaynarken bileşiminde hiçbir değişiklik olmadığı halde, HCl(suda) çözeltisi açık bir kapta kaynatıldığında bileşimi değişir. Nedenini açıklayınız.
(c) Özel bir çözelti olan azeotrop (b) şıkkında söylenenlere uymaz. Yani, kaynama sırasında bileşimi *değişmez*. Bu çözeltinin yaklaşık bileşimi ve kaynama noktası nedir?
(d) HCl ve suyun oluşturduğu azeotropun (d = 1,099 g/mL) 5,00 mL sinin titrasyonu için 30,32 mL, 1,006 M lık NaOH gerekir. Bu verilerden yararlanarak, HCl-su azeotropunun bileşimini daha kesin olarak, HCl in mol kesri cinsinden belirleyiniz.

115. Aşağıda şekli verilen laboratuvar gerecine *desikatör* denir. Desikatör bağıl nemi sabit tutmak için kullanılır. Bağıl nemi kontrol edecek olan materyal desikatörün dibine, bağıl nemi sabit tutulacak bileşik üste yerleştirilir.



(a) Alt bölüme yerleştirilen madde doymuş NaCl(suda) çözeltisinin NaCl(k) ile temasta olan bir çözeltisi ise, kabın içinde 20 °C de yaklaşık bağıl nem kaç olacaktır? NaCl ün çözünürlüğünü Şekil 13-8 den, suyun buhar basıncı verilerini Çizelge 12.4 den alınız. Sayfa 573 deki Raoult yasası tanımını ve yeryüzünün Atmosferi (Okuma parçası 6) metnindeki bağıl nem tanımını kullanınız. NaCl ün iyonlarına tamamen ayrıştığını varsayınız.
(b) Eğer üst bölüme konan madde kuru $CaCl_2 \cdot 6H_2O(k)$ ise, katı sulanır mı? Açıklayınız.

[*İpucu:* Sayfa 577-578 deki açıklamaları anımsayınız.]
(c) $CaCl_2 \cdot 6\ H_2O(k)$ yı desikatör içinde kuru halde tutabilmek için alt bölümdeki doygun çözelti içindeki maddenin sudaki çözünürlüğü yüksek mi yoksa düşük mü olmalıdır? Açıklayınız.

116. Her yıl dünyada ishalden dolayı aşırı su kaybını önleme amacıyla birçok çocuğa oral rehidrasyon terapisi (ORT) (ağız yoluyla vücudun elektrolitik bir sıvı ile beslenmesi) uygulanır. Verilen sıvı kan ile *izotonik* olmalıdır.
(a) Bu kitapta verilen izotonik çözelti tanımlarından biri, çözeltinin % 0,92 NaCl(suda) (kütle/hacim) ile aynı osmotik basınca sahip olmasıdır. Diğer bir tanım ise çözeltinin – 0,52 °C de donmasıdır. Etkinlik yerine çözelti derişimlerini kullandığımızda, bu iki tanımın birbirine yeteri kadar yakın olduğunu gösteriniz.
(b) (a) şıkkında verilen donma noktası tanımına göre litresinde 3,5g NaCl, 1,5g KCl, 2,9g $Na_3C_6H_5O_7$ (sodyum sitrat) ve 20,0 g $C_6H_{12}O_6$ (glukoz) içeren bir ORT çözeltisinin izotonik olduğunu gösteriniz. [*İpucu:* Bu çözünenlerden hangileri kuvvetli elektrolittir, hangileri elektrolit değildir?]

Kendi Kendini Deneme Soruları

117. Aşağıdaki terim ya da simgeleri kendi sözcüklerinizle tanımlayınız ya da açıklayınız: (a) x_B ; (b) P°_A (c)K_d ; (d) i; (e) etkinlik.

118. Aşağıdaki kavram ya da olayları kısaca açıklayınız: (a) Henry yasası; (b) donma noktası alçalması; (c) yeniden kristallendirme; (d) hidratlaşmış iyon; (e) sulanma.

119. Aşağıda verilen terimler arasındaki önemli farkları belirtiniz: (a) molalite ve molarite; (b) ideal ve ideal olmayan çözelti; (c) doymamış ve aşırı doymuş çözelti; (d) ayrımsal kristallendirme ve ayrımsal damıtma; (e) osmoz ve ters osmoz.

120. 0,010 M sulu CH_3OH çözeltisi aşağıdaki çözeltilerden hangisiyle yaklaşık olarak aynı derişimdedir?
(a) % 0,010 CH_3OH (kütle / hacim); (b) % 0,010 m CH_3OH; (c) $x_{CH_3OH} = 0{,}010$; (d) 0,990 M H_2O.

121. Aşağıdaki karışımlardan hangisinin ideal bir çözelti oluşturması beklenir?
(a) NaCl—H_2O; (b) CH_3CH_2OH—C_6H_6; (c) C_7H_{16}—H_2O; (d) C_7H_{16}—C_8H_{18}.

122. Reaktif olmayan bir gazın sudaki çözünürlüğü için aşağıdaki önermelerden hangisi doğrudur? (a) gaz basıncının artmasıyla; (b) sıcaklığın artmasıyla; (c) sıcaklık ve basıncın artmasıyla; (d) su ile dengede olan gazın hacminin artmasıyla, çözünürlük artar.

123. Aşağıdaki sulu çözeltilerden hangisinin donma noktası en düşüktür? (a) 0,010 m $MgSO_4$; (b) 0,011 m NaCl; (c) 0,018 m CH_3CH_2OH; (d) 0,0080 m $MgCl_2$

124. Bir ideal sıvı çözeltinin iki uçucu bileşeni vardır. Çözelti ile dengede olan buhardaki bileşenlerin mol kesirleri için hangisi doğrudur? (a) her ikisi de 0,50 dir; (b) eşittir, ancak 0,50 değildir; (c) eşit olamazlar; (d) çözücü için 1,00; çözünen için 0,00 dır.

125. 1,12 mol NH_4Cl ün 150,0 g H_2O da çözülmesiyle hazırlanan bir çözelti 30 °C ye ısıtılmıştır. Şekil 13-8 i kullanarak, çözelti doymamış bir çözelti midir, yoksa çözünenin aşırısı kristallenecek midir, belirtiniz.

126. Kan ile izotonik olan NaCl(suda) çözeltisi, % 0,92 lik (kütle/hacim) dir. Bu çözelti için aşağıdaki şıklarda sorulan sorulara cevap veriniz (a) $[Na^+]$; (b) iyonların toplam molaritesi, (c) 37 °C deki osmotik basınç; (d) yaklaşık donma noktası (çözelti yoğunluğunu 1,005 g/mL kabul ediniz).

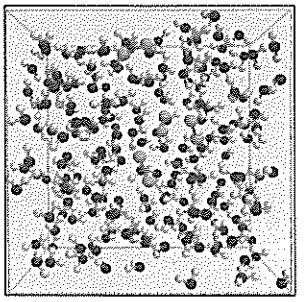
127. Bir çözelti (d = 1,159 g/mL), kütlece % 62,0 gliserin, $HOCH_2CH(OH)CH_2OH$ ve % 38,0 H_2O içermektedir (a) suyun çözücü olduğu koşulda gliserinin molaritesi (b) gliserinin çözücü olduğu koşulda suyun molaritesi (c) gliserindeki H_2O nun molalitesi (d) gliserinin mol kesri (e) H_2O nun mol kesri, nedir?

128. Aşağıda verilen çizelgede, sol sütunda verilen hangi özellik, sağ sütunda tanımlanan çözelti için uygundur? Seçimlerinizin nedenlerini açıklayınız.

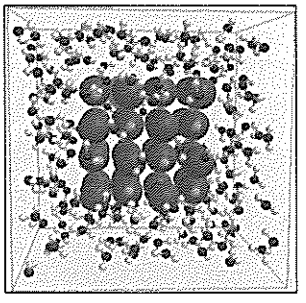
Özellik	Çözelti
1. En düşük elektriksel iletkenlik	a. 0,10 m KCl(suda)
2. En düşük kaynama noktası	b. 0,15 m $C_{12}H_{22}O_{11}$(suda)
3. 25 C° de suyun en yüksek buhar basıncı	c. 0,10 m CH_3COOH(suda)
4. En düşük donma noktası	d. 0,05 m NaCl

129. Aşağıdakilerden hangisi çözelti içindeki $MgCl_2$ ü göstermektedir?

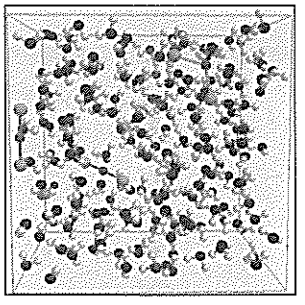
(a)



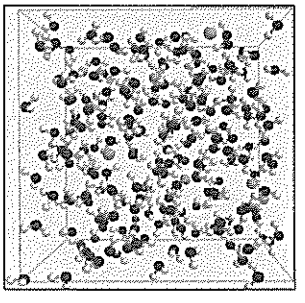
(b)



(c)



(d)



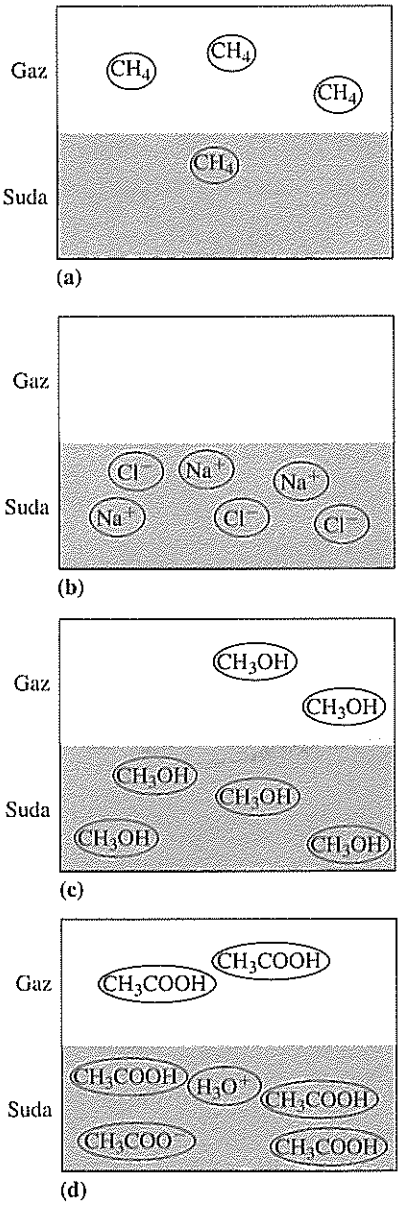
O ● H ◟ Cl ● Mg ●

130. Aşağıdaki iyonlardan hangisinin yük yoğunluğu daha fazladır? **(a)** Na^+; **(b)** F^-; **(c)** K^+; **(d)** Cl^-

131. NH_4Cl bir deney tüpünde, su içinde çözüldüğünde deney tüpü soğumaktadır. NH_4Cl için $\Delta H_{örgü}$ değeri, iyonların $\Delta H_{hidrasyon}$ toplamından büyük müdür, küçük müdür?

132. Aşağıdaki çözünenlerin 1 bar basınç ve 25 °C de doymuş çözeltilerindeki çözünürlükleri verilen hangi koşullar altında artar? **(a)** Ar(g), sıcaklık azalması; **(b)** NaCl(k), basınç artması; **(c)** N_2, basınç azalması; **(d)** CO_2, hacim artışı.

133. Aşağıdakilerden hangisi uçucu olmayan bir çözüneni göstermektedir?



134. 68,7 °C de, (heksanın normal kaynama noktası), buhar basıncı 600 mm Hg olan bir heksan çözeltisindeki uçucu olmayan bir çözünenin mol kesri nedir? **(a)** 0,21; **(b)** 0,11; **(c)** 0,27; **(d)** 0,79.

135. 15,2 L'lik 0,312 M derişimindeki bir nişasta çözeltisinin 75 °C deki osmotik basıncı (bar cinsinden) aşağıdaki değerlerden hangisidir?
(a) 13721,1; **(b)** 194,5; **(c)** 355,7; **(d)** 0,0016; **(e)** 9,03.

136. 10,5 mol suda çözülen 23,4 g CaF_2 ün ağırlıkça yüzdesi nedir? **(a)** 0,028; **(b)** 1,59; **(c)** 11,0; **(d)** 12,4 (e) hiç biri.

137. Ek E' de verilen kavram haritalama yöntemini kullanarak, Kesim 13-2 de verilen farklı derişim birimleri arasındaki ilişkileri gösteren bir kavram haritası tasarlayınız.

138. Kesim 13-6, 13-7, 13-8 ve 13-9'da anlatılan sayısal özelliklerin aralarındaki ilişkileri gösteren bir kavram haritası tasarlayınız.

A

Ek

Matematiksel İşlemler

A-1 Üstel Aritmetik

Bu kitaptaki sayısal değerler çok küçükten çok büyüğe değişen geniş bir aralığı kapsamaktadır. Örneğin bir hidrojen atomunun kütlesi 0,000000000000000000000000167 g; 18,106 g sudaki molekül sayısı 602,214,000,000,000,000,000 dır. Bu rakamların alışılmış şekilde yazılması ve hesap makinalarına alınması zordur. Bunları *üstel* şekilde yazarak önemli ölçüde yalınlaştırabiliriz. Üstel sayı 1 ile 10 arasında değişen bir katsayı ve 10 un kuvvetiyle çarpımından oluşur.

10^n sayısı 10 un *n nci kuvvetidir. n pozitifse* 10^n *1 den büyüktür. n negatifse* 10^n *1 den küçüktür* (0 ile 1 arasındadır).

Pozitif kuvvetler	*Negatif kuvvetler*
$10^0 = 1$	$10^0 = 1$
$10^1 = 10$	$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0{,}1$
$10^2 = 10 \times 10 = 100$	$10^{-2} = \frac{1}{10 \times 10} = \frac{1}{10^2} = 0{,}01$
$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$	$10^{-3} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10} = \frac{1}{10^3} = 0{,}001$

3170 sayısını üstel şekilde ifade etmek için

$$3170 = 3{,}17 \times 1000 = 3{,}17 \times 10^3 \text{ yazılır.}$$

0,00046 sayısı için

$$0{,}00046 = 4{,}6 \times 0{,}0001 = 4{,}6 \times 10^{-4} \text{ yazılır.}$$

Bir sayının üstel şekle dönüştürülmesinde en kolay yöntem, aşağıdaki gibi, ara basamakları atlamaktır.

$$\underset{3\,2\,1}{3\,1\,7\,0} = 3{,}17 \times 10^3$$

$$0{,}\underset{1\,2\,3\,4}{0\,0\,0\,4\,6} = 4{,}6 \times 10^{-4}$$

Bir sayının üstel şekle dönüştürülmesi için,

- 1-10 arasında değer alan bir katsayı bulmak amacı ile virgülü kaydırınız.
- 10 un kuvveti (üssü) virgülün kayma sayısına eşittir.
- Virgül *sola* kaydırılmışsa 10 un üssü *pozitiftir.*
- Virgül *sağa* kaydırılmışsa 10 un üssü *negatiftir.*

Bir sayıyı üstel şekilden, alışılmış şekle dönüştürmek için virgülü 10 un üstündeki rakamlar kadar kaydırınız. Örneğin,

$$6{,}1 \times 10^{6} = 6{,}\underbrace{1\,0\,0\,0\,0\,0}_{1\,2\,3\,4\,5\,6} = 6{,}100{,}000$$

$$8{,}2 \times 10^{-5} = 0.\underbrace{0\,0\,0\,0\,8{,}2}_{5\,4\,3\,2\,1} = 0{,}000082$$

▶ Buradaki açıklamalar tipik bir elektronik hesap makinası için verilmiştir. Sizin hesap makinenizin anahtar vuruşları farklı olabilir. Bu nedenle hesap makinanızla birlikte verilen kullanım kılavuzunun özel bölümlerine bakınız.

Bilimsel ve teknik işlemler için hazırlanan elektronik hesap makinaları üstel sayıları kolayca yerleştirir. Tipik bir işlemde önce sayı, sonra "EXP" veya "EE" yazılır. Örneğin, $6{,}57 \times 10^{3}$ sayısı için

[6] [,] [5] [7] [EXP] [3]

tuşlarına basıldığında sonuç [6,57 03] olarak görülür.

$6{,}25 \times 10^{-4}$ sayısı için

[6] [,] [2] [5] [EXP] [4] [±]

vuruşları ile ekranda [6,25 −04] görülür.

Kimi hesap makinaları, sayıları ne şekilde girerseniz girin, sonuçları üstel şekilde verme özelliğindedir. Bunlarda anlamlı rakamları ayarlama olanağı da vardır.

Toplama ve Çıkarma

Üstel şekilde verilen sayıları toplarken veya çıkarırken önce 10 un üssünü aynı duruma getiriniz. Sonra katsayıları toplayınız veya çıkarınız. Başka bir deyişle, *10 un üssünü* alışılmış bir birim gibi ele alınız. Aşağıdaki örnekte $3{,}8 \times 10^{-3}$ ü $0{,}38 \times 10^{-2}$ ye dönüştürünüz ve 10^{-2} yi ortak çarpan olarak kullanınız.

$$\begin{aligned}(5{,}60 \times 10^{-2}) + (3{,}8 \times 10^{-3}) - (1{,}52 \times 10^{-2}) &= (5{,}60 + 0{,}38 - 1{,}52) \times 10^{-2} \\ &= 4{,}46 \times 10^{-2}\end{aligned}$$

Çarpma

$a \times 10^{y}$ ve $b \times 10^{z}$ sayılarını düşününüz. Bunların çarpımı $a \times b\, 10^{(y+z)}$ dir. *Katsayılar çarpılmış, üsler toplanmıştır.*

$$\begin{aligned}0{,}0220 \times 0{,}0040 \times 750 &= (2{,}20 \times 10^{-2})(4{,}0 \times 10^{-3})(7{,}5 \times 10^{2}) \\ &= (2{,}20 \times 4{,}0 \times 7{,}5) \times 10^{(-2-3+2)} = 66 \times 10^{-3} \\ &= 6{,}6 \times 10^{1} \times 10^{-3} = 6{,}6 \times 10^{-2}\end{aligned}$$

Bölme

$a \times 10^{y}$ ve $b \times 10^{z}$ sayılarını düşününüz. Bölüm

$$\frac{a \times 10^{y}}{b \times 10^{z}} = (a/b) \times 10^{(y-z)}$$

Katsayılar bölünmüş, payın üstelinden paydanın üsteli çıkarılmıştır.

$$\begin{aligned}\frac{20{,}0 \times 636 \times 0{,}150}{0{,}0400 \times 1{,}80} &= \frac{(2{,}00 \times 10^{1})(6{,}36 \times 10^{2})(1{,}50 \times 10^{-1})}{(4{,}00 \times 10^{-2}) \times 1{,}80} \\ &= \frac{2{,}00 \times 6{,}36 \times 1{,}50 \times 10^{(1+2-1)}}{(4{,}00 \times 1{,}80) \times 10^{-2}} = \frac{19{,}1 \times 10^{2}}{7{,}20 \times 10^{-2}} \\ &= 2{,}65 \times 10^{(2-(-2))} = 2{,}65 \times 10^{4}\end{aligned}$$

Bir Sayının Kuvveti

$a \times 10^y$ sayısının karesi demek $(a \times 10^y)^2$ nin değerini ya da $(a \times 10^y)$ $(a \times 10^y)$ çarpımını bulmak demektir. Çarpma kuralına göre çarpım $(a \times a) \times 10^{y+y} = a^2 \times 10^{2y}$ dir. Üstel bir sayının kuvveti alındığında, *katsayı kuvveti alır, üstel de kuvvetle çarpılır.* Örneğin,

$$(0{,}0034)^3 = (3{,}4 \times 10^{-3})^3 = (3{,}4)^3 \times 10^{(3)(-3)} = 39 \times 10^{-9} = 3{,}9 \times 10^{-8}$$

Üstel Bir Sayının Kökü

Bir sayının kökünü bulmak için yapılan işlem, kuvvetini almak için uygulanan işleme benzer. Bir sayının kare kökü onun yarı kuvveti; küp kökü 1/3 cü kuvveti vs. demektir. Örneğin,

$$\sqrt{a \times 10^y} = (a \times 10^y)^{1/2} = a^{1/2} \times 10^{y/2}$$

$$\sqrt{156} = \sqrt{1{,}56 \times 10^2} = (1{,}56)^{1/2} \times 10^{2/2} = 1{,}25 \times 10^1 = 12{,}5$$

Küp kökü araştırılan aşağıdaki örnekte üst (–5) dir ve 3'e bölünememektedir. Ancak, sayı (–6) üssüyle yeniden yazılırsa, bu kez 3'e bölünebilmektedir.

$$(3{,}52 \times 10^{-5})^{1/3} = (35{,}2 \times 10^{-6})^{1/3} = (35{,}2)^{1/3} \times 10^{-6/3} = 3{,}28 \times 10^{-2}$$

A-2 Logaritmalar

Bir (N) sayısının on tabanına göre *yaygın* logaritması 10 üzerine gelmesi gereken üstür. Başka bir deyişle $\log N = x$, $N = 10^x = 10^{\log N}$ demektir. 10 un basit kuvvetleri için

$$\log 1 = \log 10^0 = 0$$

$$\log 10 = \log 10^1 = 1 \qquad \log 0{,}10 = \log 10^{-1} = -1$$

$$\log 100 = \log 10^2 = 2 \qquad \log 0{,}01 = \log 10^{-2} = -2$$

Ölçümlerden ve hesaplamalardan çıkan sonuçların çoğu 10 un basit kuvvetleri değildir. Fakat bu sayıların elektronik makinalarla logaritmalarını bulmak oldukça kolaydır. Bir sayının logaritmasını bulmak için sayıyı yazdıktan sonra "LOG" tuşuna basınız.

$$\log 734 = 2{,}866$$

$$\log 0{,}0150 = -1{,}824$$

Logaritması verilen bir sayıyı bulma işlemiyle sık sık karşılaşılır. Bu sayıya *antilogaritma* ya da *ters logaritma* denir. Örneğin $\log N = 4{,}350$ ise, N nedir? Antilogaritma N, $10^{4{,}350}$ dir ve değeri bulunurken 4,350 ile girilir sonra "10^x" tuşuna basılır. Kullanılan makinaya bağlı olarak 10^x tuşundan önce "INV" ya da "2nd F" tuşuna basılır.

$$\log N = 4{,}350$$

$$N = 10^{4{,}350}$$

$$N = 2{,}24 \times 10^4$$

–4,350 nin antilogaritmasını bulmak gerekiyorsa, $N = 10^{-4{,}350}$ ve $N = 4{,}47 \times 10^{-5}$ dir. Tipik bir elektronik makinada basılması gereken tuşlar:

[4] [,] [3] [5] [0] [±] [INV] [log]

ve ekranda

[4,47 −05]

görünür.

Bazı Kullanışlı Bağıntılar

Logaritma tanımından hareketle $M = 10^{\log M}$, $N = 10^{\log N}$ ve $M \times N = 10^{\log(M \times N)}$ yazabiliriz. Bu, $\log (M \times N) = \log M + \log N$ demektir.

$$\log(M \times N) = \log M + \log N$$

Aynı şekilde

$$\log \frac{M}{N} = \log M - \log N$$

yazılabilir.

Son olarak, $N^2 = N \times N$, $10^{\log N^2} = 10^{\log N} \times 10^{\log N}$, ve

$$\log N^2 = \log N + \log N = 2 \log N$$

ya da daha genel bir ifade ile

$$\log N^a = a \log N$$

yazılabilir. Bu ifade özellikle kök alımında kullanışlıdır. Örneğin, $(2{,}5 \times 10^{-8})^{(1/5)}$ in değeri hesaplanacaksa,

$$\log(2{,}5 \times 10^{-8})^{1/5} = \tfrac{1}{5} \log(2{,}5 \times 10^{-8}) = \tfrac{1}{5}(-7{,}60) = -1{,}52$$
$$(2{,}5 \times 10^{-8})^{1/5} = 10^{-1{,}52} = 0{,}030$$

bulunur.

Logaritmalarda Anlamlı Rakamlar

Bir logaritmada ya da antilogaritmada anlamlı rakamı saptayabilmek için şu kural kullanılır: Bir logaritmada virgülün *sağında* kalan bütün rakamlar anlamlıdır. Virgülün *solundaki* rakamlar 10 un kuvvetini bulmaya yarar. Örneğin, –2,08 *iki* anlamlı rakamla verilmiştir. –2,08 in antilogaritması *iki* anlamlı rakamla ifade edilmelidir; $8{,}3 \times 10^{-3}$. Bu noktayı pekiştirebilmek için –2,07, –2,08 ve –2,09 un antilogaritmalarını alınız. Sayıların antilogaritmaları sırasıyla $8{,}5 \times 10^{-3}$, $8{,}3 \times 10^{-3}$ ve $8{,}1 \times 10^{-3}$ bulunur. Yalnız *iki* anlamlı rakam yeterlidir.

Doğal Logaritmalar

Logaritmalar 10 dan farklı tabanla ifade edilebilir. Çünkü, örneğin, $2^3 = 8$, $\log_2 8 = 3$ ("8 in 2 tabanına göre logaritması 3 e eşittir" diye okunur). Benzer şekilde $\log_2 10 = 3{,}322$ dir. Bu kitaptaki eşitliklerin birçoğu logaritma içerir ve eşitlikler "doğal" logaritma gerektirir. *Doğal* logaritma $e = 2{,}71828\ldots$ tabanlıdır: e tabanlı logaritma genellikle *ln* ile gösterilir.

"Doğal" ve "yaygın" logaritma arasındaki ilişki $\log_e 10 = 2{,}303$ farktörünü içerir. Başka bir deyişle N sayısı için $\ln N = 2{,}303 \log N$ dir. 10 tabanlı logaritma ve antilogaritmalar için tanımlanan bağıntılar ve yöntemler e tabanına da uygulanır. Fakat elektronik hesap makinasındaki "LOG" ve "10^x" tuşları yerine "ln" ve "e^x" geçecektir.

A-3 Cebirsel İşlemler

Bir cebirsel eşitlikteki bilinmeyen, eşitlikteki diğer niceliklerle ifade edilmişse, çözülür. Çözümün gerçekleşebilmesi için bilinmeyen, eşitliğin bir tarafına, kalan nicelikler de diğer tarafına toplanmalıdır. Eşitliği çözebilmek için terimlerin yeniden düzenlenmesi gerekebilir. Yeniden düzenlemelerle ilgili temel ilkeler çok basittir. *Eşitliğin bir tarafına ne yapılmışsa diğer tarafına da aynısı yapılmalıdır:*

$3x^2 + 6 = 33$ *denkleminde x i bulunuz.*

$3x^2 + 6 - 6 = 33 - 6$ (1) iki taraftan 6 çıkarınız.

$3x^2 = 27$

$\frac{3x^2}{3} = \frac{27}{3}$ (2) iki tarafı 3 e bölünüz.

$x^2 = 9$

$\sqrt{x^2} = \sqrt{9}$ (3) iki tarafın karekökünü alınız.

$x = 3$ (4) basitleştiriz. 9 un karekökü 3 tür.

İkinci Derece Denklemler

İkinci derece bir denklem $ax^2 + bx + c = 0$ şeklinde ifade edilir. Burada a, b ve c birer sabittir (a sıfır olamaz). Kitaptaki hesaplamaların çoğu ikinci derece denklem çözümünü gerektirir. Bazen ikinci derece denklemler

$$(x + n)^2 = m^2$$

şekline uymaktadır. Böylesi eşitlikler iki tarafın karekökünü almakla çözülebilir.

$$x + n = \pm m \quad \text{ve} \quad x = m - n \quad \text{veya} \quad x = -m - n$$

Bununla birlikte daha genel bir formüle gerek duyulur.

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Sayfa 685 deki 15-13 örneğinde aşağıdaki eşitliği çözmek gerekir:

$$\frac{(0{,}300 - x)}{(0{,}200 + x)(0{,}100 + x)} = 2{,}98$$

Bu, ikinci derece bir denklemdir. Çözüme geçilmeden önce standart şekle ($ax^2 + bx + c = 0$) dönüştürülmelidir. Aşağıdaki basamaklarla amaca ulaşılır.

$$(0{,}300 - x) = 2{,}98(0{,}200 + x)(0{,}100 + x)$$

$$0{,}300 - x = 2{,}98(0{,}0200 + 0{,}300x + x^2)$$

$$0{,}300 - x = 0{,}0596 + 0{,}894x + 2{,}98x^2$$

$$2{,}98x^2 + 1{,}894x - 0{,}240 = 0 \qquad \textbf{(A.1)}$$

Bilinmeyen için yukarıda verilen formül şimdi uygulanabilir,

$$x = \frac{-1{,}894 \pm \sqrt{(1{,}894)^2 + (4 \times 2{,}98 \times 0{,}240)}}{2 \times 2{,}98}$$

$$= \frac{-1{,}894 \pm \sqrt{3{,}587 + 2{,}86}}{2 \times 2{,}98}$$

$$= \frac{-1{,}894 \pm \sqrt{6{,}45}}{2 \times 2{,}98} = \frac{-1{,}894 \pm 2{,}54}{2 \times 2{,}98}$$

$$= \frac{-1{,}894 + 2{,}54}{2 \times 2{,}98} = \frac{0{,}65}{5{,}96} = 0{,}11$$

Çözümde (±) işaretli değerlerden yalnız (+) olanı kullanılmıştır. Eğer (–) işaretli değer kullanılsaydı x için negatif sonuç bulunurdu. Verilen örnekte negatif değerli x anlam ifade etmemektedir.

Ardıl yaklaştırmalar yöntemi

İkinci derece formülü kullanarak biraz önce çözülen ikinci derece denklem başka bir yöntemle çözülebilir ve bu yöntem kimyasal denge problemlerini çözerken sıklıkla karşılaşılan üçüncü, dördüncü ve beşinci derece denklemlere de uygulanabilir. Bu yöntemi anlatabilmek için, ikinci

dereceden bir çözüme başvurmaksızın (A.1) ifadesini çözmeye çalışalım. Eşitliği aşağıdaki şekilde yeniden yazabilir ve eşitliğin sağ tarafındaki x'e tahmini bir değer vererek yeni bir değer elde edebiliriz.

$$x = \frac{2{,}98x^2 - 0{,}240}{-1{,}894}$$

Örnek alıştırma 15-13 ü kapsayan başlangıç derişimleri için 0,15 tahmini değer ise;

$$x = \frac{2{,}98 \times (0{,}15)^2 - 0{,}240}{-1{,}894} = 0{,}091$$

buluruz. Şimdi yeni x değerini bulmak için bunu yerine koyarak

$$x = \frac{2{,}98 \times (0{,}091)^2 - 0{,}240}{-1{,}894} = 0{,}114$$

bulunur. Yöntemi bir kez daha yinelersek;

$$x = \frac{2{,}98 \times (0{,}114)^2 - 0{,}240}{-1{,}894} = 0{,}106$$

son bir sınama 0,11 değerini verir ki, bu da daha önce elde edilen yanıtla uyum içerisindedir. Yukarıda kullandığımız yönteme *ardıl yaklaştırmalar yöntemi* denir.

Bu ardıl yaklaştırma yöntemini şimdi de 15. Bölümün pekiştirici örneğinde verilen eşitliğe uygulayalım.

$$256x^5 - 0{,}74[(1{,}00 - x)(1{,}00 - 2x)^2] = 0 \qquad \textbf{(A.2)}$$

Buradaki yaklaşım x'e bir değer öngörmekle başlar; öngörülen değeri ifadede yerine koyarsak sıfıra ne denli yakın olduğuna bakarız ve x'in değerini buna göre ayarlarız. 0,40 tahminle başladığımızda sonuç

$$256(0{,}40)^5 - 0{,}74[(1{,}00 - 0{,}40)(1{,}00 - 2 \times 0{,}40)^2] = 2{,}60$$

Açıkçası 0,40 değeri çok büyük. Şimdi 0,10 u denersek –0,42 değerini elde ediriz. x in değerini kaçırdık. Şimdi 0,25 değerini (ilk iki değerin ortalaması) sınayabiliriz ve 0,11 elde edilir. Anlıyoruz iki sıfıra yaklaşabilmek için x in tahmini değerini biraz daha küçültmeliyiz. 0,20 yi sınarsak –0,13 elde edilmektedir. x = 0,225 değerini sınadığımızda –0,03 elde ederiz. Demek ki eşitliği sağlayabilecek x değerine çok yakınız. En son olan 0,23 tahminimiz –0,001 değerini verir ki bu tatmin edici bir sonuçtur.

Diğer bir yaklaşım (A.2) ifadesini aşağıdaki gibi yeniden yazmak ve x'i yeni ifadenin beşinci kökü olarak hesaplamaktır.

$$x^5 = \frac{0{,}74[(1{,}00 - x)(1{,}00 - 2x)^2]}{256}$$

Eşitliğin sağ tarafına x = 0,40 yazarsak sol taraf için x = 0,15 buluruz. Sağ taraf için bu değeri kullanarak sol için x = 0,26 buluruz. Bu değeri kullanarak sol taraf için x = 0,22 buluruz ve en son bu değerle x = 0,23 elde ederiz ki yukarıdaki yöntemle uyum içerisindedir. Bu iki yöntemden hangisini seçeceğimizi kolaylık belirleyecektir. Fakat, ikinci yöntem x için yeni bir değer verir. Oysa, birinci yöntem daha çok sınama yanılma gerektirebilir. Ardıl yaklaştırma yöntemini kullanırken iki değerin ortalamasını kullanmak genellikle istenen sonuca yaklaşmayı hızlandırır. Ardıl yaklaştırma yöntemi çok kullanışlı olabilir. Fakat bazen, seçilen eşitliğe bağlı olarak, doğru sonuca ulaşmak yavaş, hatta uzaklaşıcı özellik gösterebilir. Böylesi durumlarda çözümün nerede olduğunu anlamak için x in fonksiyonu olarak ifadeyi grafiğe geçirebiliriz. her koşulda elde ettiğimiz yanıtın kimyasal ya da fiziksel açıdan mantıklı olduğuna dikkat etmeliyiz.

A-4 Grafikler

Laboratuardaki ölçümlerle x ve y nicelikleri için aşağıdaki sayılar grubu elde edilsin.

$$x = 0, 1, 2, 3, 4, \ldots$$

$$y = 2, 4, 6, 8, 10, \ldots$$

Bu sayılar grubu arasında bir ilişki kurmak zor değildir.

$$y = 2x + 2$$

İdeal olanı, deneysel ölçümlerin sonuçlarını matematiksel bir denklemle ifade edebilmektir. Fakat bazen böylesine kesinlik kazanmış bir denklem yazılamaz ya da deneysel verilerle elde edilen şekil açık değildir. Böylesi durumlarda verilerin grafiğe geçirilmesi çok yararlıdır. Yukarıda verilen değerler grubu Şekil A-1 deki koordinat eksenleri; x yatay eksen (absis), y düşey eksen (ordinat) üzerine yerleştirilmiştir. Her nokta için x ve y nin değerleri parantez içinde gösterilmiştir.

Veri noktalarının bir doğruya karşılık geldiği görülmektedir. Böyle bir doğrunun matematiksel denklemi

$$y = mx + b$$

şeklindedir. Doğru grafiğinden *eğim (m)* ve *kesim noktası (b)* değerleri elde edilebilir. $x = 0$ ise $y = b$ dir.

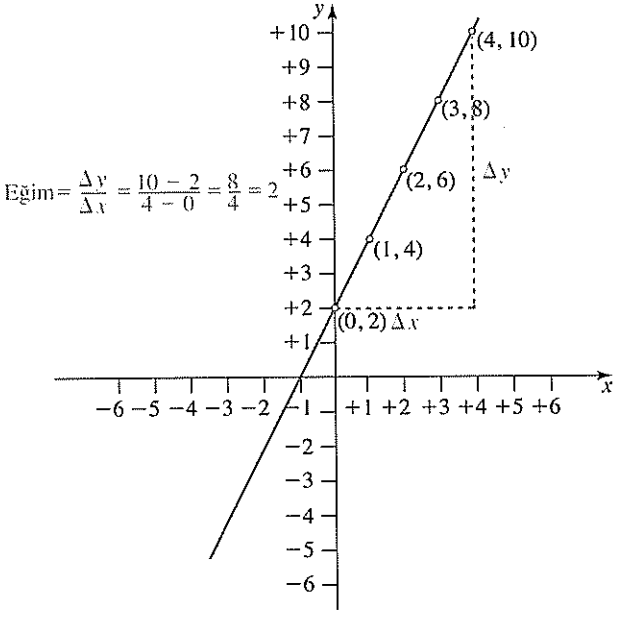
Doğrunun y-eksenini kestiği nokta başlangıç değerine karşılıktır. Grafik üzerindeki iki noktadan yararlanarak eğim bulunur.

$$y_2 = mx_2 + b \quad \text{and} \quad y_1 = mx_1 + b$$

$$y_2 - y_1 = m(x_2 - x_1) + b - b$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Şekil A-1 deki doğrudan yararlanarak $m = b = 2$ olduğunu gösterebilir misiniz?



▲ ŞEKİL A-1
Bir doğrunun grafiği: y= mx + b

Yukarıda b sabitini uzaklaştırmak amacı ile kullanılan yöntem bu kitabın değişik yerlerinde logaritmik fonksiyonlara da uygulanmıştır. Örneğin aşağıdaki bağıntıda P basıncı, T Kelvin sıcaklığını, A ve B birer sabiti göstermektedir. Bu eşitlik bir doğruya karşılık gelmektedir.

$$\underbrace{\ln P}_{y} = \underbrace{-A\left(\frac{1}{T}\right)}_{m \times x} + \underbrace{B}_{b}$$

doğrunun denklemi:

Bu bağıntıyı P_1, T_1 ve P_2, T_2 noktaları için iki kez yazabiliriz.

$$\ln P_1 = -A\left(\frac{1}{T_1}\right) + B \quad \text{ve} \quad \ln P_2 = -A\left(\frac{1}{T_2}\right) + B$$

İki eşitlik arasındaki fark,

$$\ln P_2 - \ln P_1 = -A\left(\frac{1}{T_2}\right) + B + A\left(\frac{1}{T_1}\right) - B$$

$$\ln\frac{P_2}{P_1} = A\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

A-5 Dönüşüm Faktörlerinin Kullanımı (Boyut Analizi)

Genel kimyadaki kimi hesaplamalar bir birimde ölçülen niceliği başka birimler grubuna dönüştürülmesini gerektirir. Şu gerçek göz önüne alınsın.

$$1\ \text{m} = 100\ \text{cm}$$

Eşitliğin her iki tarafını 1m ye bölünüz.

$$\frac{1\ \text{m}}{1\ \text{m}} = \frac{100\ \text{cm}}{1\ \text{m}}$$

Eşitliğin sol tarafındaki pay ve payda birbiriyle özdeştir; birbirini götürür.

$$1 = \frac{100\ \text{cm}}{1\ \text{m}} \qquad \textbf{(A.3)}$$

Sağ taraftakiler özdeş değildir, fakat eşittirler. Çünkü her ikiside *aynı uzunluğu* temsil eder. 100 cm/1m oranı metre ile verilen bir uzunluk ile çarpıldığında cm birimli uzunluğa dönüşür. Söz konusu orana *dönüşüm faktörü* denir.

"6,22 m de kaç cm vardır?" sorusunu dikkate alınız. Ölçülen nicelik 6,22 m dir ve bu niceliğin 1 ile çarpılması onun değerini değiştirmez.

$$6{,}22\ \text{m} \times 1 = 6{,}22\ \text{m}$$

Şimdi "1" faktörünü onun eşdeğeriyle-dönüştürme faktörüyle (A.3) değiştiriniz. Birim m yi sadeleştiriniz ve çarpımı sürdürünüz.

$$6{,}22\ \text{m} \times \underbrace{\frac{100\ \text{cm}}{1\ \text{m}}}_{\substack{\text{bu faktör}\\ \text{m yi cm ye}\\ \text{dönüştürür}}} = 622\ \text{cm}$$

İkinci olarak "576 cm de kaç metre vardır?" sorusunu gözönüne alınız. Önce yaptığımız gibi aynı faktörü (A.3) kullanırsak sonuç saçma sapandır.

$$576\ \text{cm} \times \frac{100\ \text{cm}}{1\ \text{m}} = 5{,}76 \times 10^4\ \text{cm}^2/\text{m}$$

O halde, (A.3) faktörü 1 m/100 cm ye dönüştürülmelidir.

$$576 \text{ cm} \times \underbrace{\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}}_{\substack{\text{bu faktör} \\ \text{cm yi m ye} \\ \text{dönüştürür}}} = 5{,}76 \text{ m}$$

Bu ikinci örnek iki noktayı vurgular.

1. Bir dönüşüm faktörü iki şekilde yazılır; birinci şekil veya onun tersi. Dönüşüm faktörü 1 e eşit olduğu için, ters yazmakla onun değeri değişmez
2. Dönüşüm faktörü gerekli birim sadeleştirmelerini verecek şekilde kullanılmalıdır.

◀ Birimlerin sadeleştirilmesi önemli olduğu için, bu problem çözme yöntemin genellikle *birim analizi* ya da *boyut analizi* denir.

Dönüşüm faktörlerine bağlı hesaplamalar her zaman aşağıdaki şekle uymalıdır.

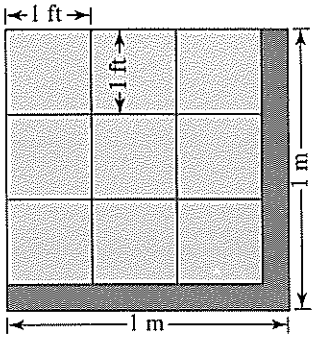
$$\textit{aranan bilgi} = \textit{verilen bilgi} + \textit{dönüşüm faktör(leri)} \qquad \textbf{(A.4)}$$

İstenen sonuca ulaşabilmek için genellikle arka arkaya bir kaç dönüşüm yapmak gerekir. Örneğin, 576 cm de kaç yard (yd) olduğunu bilmek istiyorsak doğrudan cm → yol dönüşüm faktörünü bulamayız. Fakat bu kitabın arka kapağındaki verilerden, dolaylı olarak bu çevirmeyi yapabiliriz. Önce cm → inç dönüşüm faktörünü buluruz. Böylece, *bir dönüşüm yolu*, başka bir deyişle bizi santimetreden yarda götürebilecek bir seri dönüşüm faktörü geliştirebiliriz:

cm → inç → ft → yd

$$\begin{aligned} ?\text{ yard} &= 576 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ in}}{2{,}54 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \times \frac{1 \text{ yd}}{3 \text{ ft}} \\ &= 6{,}30 \text{ yd} \end{aligned}$$

Aynı dönüşüm yolu düşüncesini, daha karmaşık durumlarda, örneğin, birimlerin karesi ya da küpüyle karşılaştığımızda da kullanabiliriz. Örneğin, "1 m = 39,37 inç ve 12 inç = 1 ft verilmişse, 1 metre kare (m^2) alan kaç ft^2 ye karşılıktır?" sorusunu çözelim. Burada durumu özetleyen bir çizimle başlamak yardımcı olabilir. Şekil A-2 1,00-m^2 alanı göstermektedir. Bunu kenarları 1 m olan bir kare olarak düşününüz. Şekil A-2 1 ft uzunluğu ve 1,00 ft^2 alanı da göstermektedir. $1m^2$ nin 9 ft^2 den biraz daha büyük olduğunu görebiliyor musunuz?



▲ ŞEKİL A-2
Bir ft^2 ve bir m^2 nin karşılaştırılması
1 m 3 ft den biraz daha uzundur; 1 m^2 alan 9ft^2 den daha geniştir

(A-4) ifadesini aşağıda görüldüğü şekliyle yeniden yazabiliriz:

$$?\text{ ft}^2 = 1{,}00 \text{ m}^2 \times \underbrace{\left(\frac{39{,}37 \text{ inç}}{1 \text{ m}}\right)\left(\frac{39{,}37 \text{ inç}}{1 \text{ m}}\right)}_{\substack{\text{m}^2\text{yi inç}^2\text{ye} \\ \text{dönüştürmek için}}} \times \underbrace{\left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ inç}}\right)\left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ inç}}\right)}_{\substack{\text{inç}^2\text{yi ft}^2\text{ye} \\ \text{dönüştürmek için}}}$$

Bunu aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$?\text{ ft}^2 = 1{,}00 \text{ m}^2 \times \frac{(39{,}37)^2 \text{ inç}^2}{1 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{(12)^2 \text{ inç}^2} = 10{,}8 \text{ ft}^2$$

1,00 m uzunluğu ft'e dönüştürerek de problem çözülebilir,

$$?\text{ ft} = 1{,}00 \text{ m} \times \frac{39{,}37 \text{ inç}}{1 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ inç}} = 3{,}28 \text{ ft}$$

Bulunan değer kareye uygulandığında,

$$?\text{ ft}^2 = 3{,}28 \text{ ft} \times 3{,}28 \text{ ft} = 10{,}8 \text{ ft}^2$$

Son örneğimiz yukarıda tartışılan bir kaç örneği kapsar. Hem payda hem de paydada dönüştürülmesi gereken birimler içeren durumu gözden geçireceğiz. "1 mil = 5280 ft ise 63 mil/saatlik bir hız kaç m/s ye ye karşılıktır" sorusunu yanıtlayalım.

Paydadaki mili metreye ve paydadaki saati saniyeye dönüştürmemiz gerekir. Verilen değerden başka Ek A-5 den dönüşüm faktörlerine gereksinim duyacağız. Ayrıca, dönüşüm faktörlerimizin doğru birimleri sadeleştirmesine dikkat edeceğiz.

$$?\frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{63\ \cancel{\text{mi}}}{1\ \cancel{\text{sa}}} \times \frac{1\ \cancel{\text{sa}}}{60\ \cancel{\text{dak}}} \times \frac{1\ \cancel{\text{dak}}}{60\ \text{s}} \times \frac{5280\ \cancel{\text{ft}}}{1\ \cancel{\text{mi}}} \times \frac{12\ \cancel{\text{inç}}}{1\ \cancel{\text{ft}}} \times \frac{1\ \text{m}}{39{,}37\ \cancel{\text{inç}}}$$

$$= 28\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Bir başka yaklaşımda problem üç basamağa bölünmektedir: (1) 63 mil metreye dönüştürülür; (2) 1 saati saniyelere dönüştür ve (3) hızı uzunluk/zaman oranı olarak ifade edilir.

Basamak 1.

$$\text{uzunluk} = 63\ \cancel{\text{mi}} \times \frac{5280\ \cancel{\text{ft}}}{1\ \cancel{\text{mi}}} \times \frac{12\ \cancel{\text{in}}}{1\ \cancel{\text{ft}}} \times \frac{1\ \text{m}}{39.37\ \cancel{\text{inç}}} = 1{,}0 \times 10^5\ \text{m}$$

Basamak 2.

$$\text{zaman} = 1\ \cancel{\text{h}} \times \frac{60\ \cancel{\text{dak}}}{1\ \cancel{\text{sa}}} \times \frac{60\ \text{s}}{1\ \cancel{\text{dak}}} = 3{,}6 \times 10^3\ \text{s}$$

Basamak 3.

$$\text{hız} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{zaman}} = \frac{1{,}0 \times 10^5\ \text{m}}{3{,}6 \times 10^3\ \text{s}} = 28\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sonuç olarak, (1) dönüşüm faktörünün nasıl yazıldığını; (2) dönüşüm faktörünün ters çevrilebileceğini; (3) dönüşüm yolu oluşturmak için bir seri dönüşüm faktörü kullanılabileceğini; (4) gerektiğinde dönüşüm faktörünün karesi ve küpünün alınabileceğini; (5) paydaki ve paydadaki dönüşüm faktörlerinin (mil/saat veya pound/inç^2 gibi) bir yada birkaç basamakta gerçekleştirilebileceğini görmüş olduk.

B Ek

Bazı Fiziksel Kavramlar

B-1 Hız ve İvme

Bir cismin bir noktadan başka bir noktaya hareketi zaman alır. Cismin birim zamanda aldığı yola *hız* denir. Tam bir saatte 60,0 km yol alan bir otomobilin hızı 60,0 km/saat (ya da 16,7 m/s) dir.

Çizelge B-1, serbest düşen bir cismin hız verilerini içerir. Bu hareket için hız sabit değildir-zamanla artar. Düşen cisim sürekli hızlanır. Hızın zamanla değişimine *ivme* denir. İvme birim zamanın birim zamanındaki uzunluk birimini içerir. Matematiksel yöntemle, sabit *(a)* ivmesine sahip bir cismin *(t)* zamanında aldığı yol *(d)* ve hız *(u)* için denklemler türetilebilir.

$$u = at \tag{B.1}$$

$$d = \tfrac{1}{2}at^2 \tag{B.2}$$

Serbest düşen bir cisme ilişkin sabit ivmeye *yerçekimi ivmesi* denir, $a = g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$. (B.1) ve (B.2) eşitlikleri serbest düşen bir cismin hızını ve aldığı yolu bulmak için kullanılır.

ÇİZELGE B.1 Serbest Düşen Bir Cismin Hızı ve İvmesi

Geçen Zaman, s	Toplam Mesafe, m	Hız, m/s	İvme, m/s^2
0	0	4,9	9,8
1	4,9	14,7	9,8
2	19,6	24,5	9,8
3	44,1	34,3	
4	78,4		

B-2 Kuvvet ve İş

Newton'un *birinci yasası*, duran bir cismin hareketsiz olduğunu, dış kuvvet etkisinde bulunmayan hareketli bir cismin de sabit hızla hareket ettiğini ortaya koyar. Bir cismin hareketsiz olma ya da sabit hızlı olma eğilimine *eylemsizlik (süredurum)* denir. Bu, eylemsizliği yenmek için gerekli olan bir *kuvvet*tir. Kuvvet uygulanması bir cisme hareket verdiğinden

ya da hareketini değiştirdiğinden, sonuçta cismin hızı değişmektedir. Hız değişikliği *ivme*dir. Öyleyse kuvvet ivme kazandırır.

Newton'un *ikinci yasası*, m kütleli bir cismin a ivmesini kazanabilmesi için gerekli F kuvvetini tanımlar.

$$F = ma \tag{B.3}$$

SI sistemindeki kuvvet birimi *newton (N)* dur ve tanımı şöyledir: Bir kg'lık kütleye saniyede metre (saniyelik)^2 bir ivme kazandıran kuvvettir.

$$1\,\text{N} = 1\,\text{kg} \times 1\,\text{m}\,\text{s}^{-2} \tag{B.4}$$

Bir cismin üzerine etki eden yerçekimi kuvveti (onun ağırlığı) cismin kütlesiyle yerçekimi ivmesinin, g, çarpımına eşittir.

$$F = mg \tag{B.5}$$

Bir kuvvet yol boyunca etki ediyorsa *iş* yapılır.

$$\text{iş}\,(w) = \text{kuvvet}\,(F) \times \text{yol}\,\,(d) \tag{B.6}$$

Bir newtonluk (N) kuvvet 1 m lik yol boyunca etkimişse, yapılan iş miktarı joule *(J)* dür.

$$1\,\text{J} = 1\,\text{N} \times 1\,\text{m} \tag{B.7}$$

(B.4) ile verilen newton tanımından (B.8) eşitliğini de yazabiliriz.

$$1\,\text{J} = 1\,\text{kg} \times 1\,\text{m}\,\text{s}^{-2} \times 1\,\text{m} = 1\,\text{kg}\,\text{m}^2\,\text{s}^{-2} \tag{B.8}$$

B-3 Enerji

Enerji, iş yapma kapasitesi olarak tanımlanır, fakat kullanışlı başka enerji tanımları da vardır. Örneğin hareketli bir cismin enerjisi *kinetik enerji* olarak bilinir. Bu ekteki basit eşitlikleri birleştirerek kinetik enerji için kullanışlı bir bağıntı elde edebiliriz. (B.6) eşitliğine göre enerji, bir kuvvetle yolun çarpımıdır. Kuvvet ise bir kütle ile ivmenin çarpımıdır (B.3). Dolayısıyla

$$w\,(\text{iş}) = m \times a \times d \tag{B.9}$$

Şimdi ivme *(a)* ile ilişkili (B.2) eşitliğini, yolu *(d)*, zamanı (t) (B.9) eşitliğinde yerine koyarsak;

$$w\,(\text{iş}) = m \times a \times \frac{1}{2}at^2 \tag{B.10}$$

elde ederiz. Son olarak *ivme* ve *hızla* ilişkili (B.1) ifadesi (B.10) da yerine koyulduğunda, $a = u/t$ olduğundan,

$$w\,(\text{iş}) = \frac{1}{2}m\left(\frac{u}{t}\right)^2 t^2 \tag{B.11}$$

bulunur. (B.11) deki iş, m kütleli bir cismin u hızını kazanabilmesi için yapılması gereken iştir. Bu işin miktarı cismin kinetik enerji (e_k) olarak görünen enerjidir.

$$e_k\,(\text{kinetik enerji}) = \frac{1}{2}mu^2 \tag{B.12}$$

Duran bir cisim de konumunu değiştirerek iş yapma kapasitesine ulaşır. Gerçek işe dönüşebilen bu tür enerjiye *potansiyel enerji* denir. Potansiyel enerjiyi bir cisim içinde "depolanan" enerji olarak düşününüz. Potansiyel enerjiyle ilişkili bağıntılar yazılabilir. Fakat bu bağıntılar enerjinin "depolanma" şekline bağlıdır.

B-4 Manyetizma

Bir mıknatısla ilişkili çekici ve itici kuvvetler *kutup (pol)* adı verilen bölgelerde toplanmıştır. Bir mıknatısın kuzey ve güney kutbu vardır. Birisinin kuzey kutbu diğerinin güney kutbu aynı doğrultuda yaklaştırıldığında iki mıknatıs arasında bir çekim kuvveti oluşur. Benzer kutuplar, her ikisi de kuzey veya güney kutup, yaklaştığında itme kuvvetleri oluşur. *Zıt kutuplar çeker; benzer kutuplar birbirini iter.*

Mıknatıs çevresinde etkisini hissettiren bir *manyetik alan* vardır. Bir manyetik alan tarafından demir cisim içerisinde oluşturulan değişiklikler bu cismin çekim kuvvetinin nedenidir. Manyetik alan yoksa böyle bir değişiklik gözlenmez.

B-5 Durgun Elektrik

Kimi cisimlerin sergilediği bir diğer özellik, *elektrik yükü*yle ilgilidir. Manyetizmada olduğu gibi, *zıt yükler birbirlerini çekerler ve aynı yükler birbirlerini iterler* (Şekil 2-4). Yük birimi *kulon*,C olarak adlandırılır. Aşağıda ifade edilen Coulomb yasasında, elektrikle yüklü cisimler arasındaki *pozitif* kuvvet *itici*; *negatif* kuvvet *çekici*'dir.

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon r^2} \qquad \textbf{(B.13)}$$

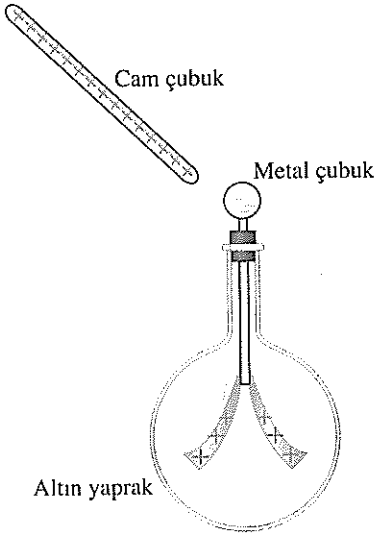
Burada Q_1 1. cisim üzerindeki yükü,

Q_2 2. cisim üzerindeki yükü,

r iki cisim arasındaki uzaklığı

ε *dielektrik sabiti* adı verilen orantı katsayısını gösterir. Dielektrik sabitinin sayısal değeri iki yüklü cisim arasındaki kuvvet üzerine ortamın etkisini yansıtır. Vakum için $\varepsilon = \varepsilon_0 = 8{,}85419 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2} = 8{,}85419 \times 10^{-12}\ C^2\ J^{-1}\ m^{-1}$, diğer ortamlar için ε değeri 1 den büyüktür (Örneğin, su için $\varepsilon = 78{,}5\varepsilon_0$).

Elektrikle yüklü bir cisim, çevresinde hissedilen bir *elektrik alanı* oluşturur. Yüklü cismin oluşturduğu alana yüksüz bir cisim getirilirse ikincinin içerisinde alansız bölgede gözlenmeyen değişiklikler olabilir. Bu değişiklikler sonradan getirilen cisim içinde elektrik yükü ile sonuçlanıyorsa, olaya *indükleme* denir (Şekil B-1).



◀ ŞEKİL B-1
Altın yapraklı elektroskopta indükleme ile elektrik yüklerinin oluşturulması.
İpek elbise üzerine sürülen cam çubuk pozitif elektrikle yüklenir. Çubuk, elektroskopa yalaştırıldığında yüklenme olur ve pozitif yüklü yapraklar birbirini iter. Metal çubuğun ucu negatif elektriği çeker. Cam çubuk uzaklaştırılınca yükler iki yaprak arasında yeniden dağılır ve yapraklar ilk haline döner. Cam çubuk uzaklaştırılmadan önce metal yuvarlağa bir iletkenle dokunulursa, yuvarlaktaki negatif yük uzaklaşır, elektroskop net pozitif yükle yüklenir ve yapraklar birbirinden uzak kalır.

İki yüklü cisim arasındaki etkileşim sonucu oluşan potansiyel enerji (PE) şöyle ifade edilir:

$$PE = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon r} \tag{B.14}$$

İki yüklü cisim arasındaki uzaklık sonsuzdan r ye düşerse, PE işe eşit olur.

B-6 Elektrik Akımı

Elektrik akımı, elektrik yüklü parçacıkların hareketidir. Metalik iletkenlerdeki elektrik akımında rol alan yüklü parçacıklar elektronlardır; erimiş tuzlarda ya da sulu çözeltilerde ise, parçacıklar pozitif ve negatif yüklü iyonlardır.

Kesim B-5 de belirtildiği gibi elektrik yükü birimine *kulon (C)* denir. Elektrik akımı birimi *amper* (A), bu iletkenden geçen 1 C/s lik akımdır. Bir iletkenden geçen elektrik akımı *(I)* miktarını iki değişken belirler. Bunlar iletkendeki potansiyel farkı ya da voltaj azalması *(E)* ve iletkenin elektriksel direnci *(R)* dir. Voltaj birimi *volt (V)*, direnç birimi *ohm*'dur. Elektrik akımı, voltaj ve direnç arasındaki bağıntı Ohm yasası ile verilir.

$$I = \frac{E}{R} \tag{B.15}$$

Bir kulon elektrik yükü bir voltluk potansiyel farkını geçtiğinde bir joule enerji verir. Başka bir deyişle bir joule, bir volt-kulondur. Elektrik *gücü* elektrik enerjisinin üretim (ya da kullanım) hızını belirtir, birimi *Watt (W)* tır.

$$1\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{J\,s^{-1}} = 1\,\mathrm{V\,C\,s^{-1}}$$

Bir $\mathrm{Cs^{-1}}$ bir amper olduğu için,

$$1\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{V} \times 1\,\mathrm{A} \tag{B.16}$$

Örneğin, 110 V da çalışan 100 W lık bir ampul 100 W / 110 V = 0,91 A akım çeker.

B-7 Elektromanyetizma

Elektrik ve manyetizma arasındaki ilişki içiçe girmiştir. Elektrik ve manyetik alanların etkileşimi (1) elektrik akımlı manyetik alanla (eletromıknatıslar gibi) sonuçlanır, (2) akım geçen iletkenler manyetik alana yerleştirildiğinde (elektrik motorlarındaki gibi) kuvvetler oluşur, (3) bir iletken manyetik alanda hareket ettiğinde (elektrik jenarotörlerindeki gibi) indüklenmiş akım elde edilir. Bu kitapta anlatılan birçok gözlem elektromanyetik olayla açıklanmaktadır.

C

Ek

SI Birimleri

Ölçülen nicelikleri evrensel düzeyde ifade edebilen birimler sistemi, uluslararası birimler sistemi (Le Systéme Internationale d'Unités yani kısaca SI) 1960 yılında yapılan Ağırlıklar ve Ölçüler Konferansında kabul edilmiştir. SI konferansında alınan bazı kararların özeti aşağıda verilmiştir.

C-1 SI Temel Birimleri

Ölçülebilen her temel nicelik için bir tek birim belirlenmiştir. Bunlar aşağıda verilmiştir:

Fiziksel Nicelik	Birimi	Simgesi
Uzunluk	Metre	m
Kütle	Kilogram	kg
Zaman	Saniye	s
Elektrik akımı	Amper	A
Sıcaklık	Kelvin	K
Işık şideti	Kandela	cd
Madde miktarı	Mol	mol
Düzlem açısı	Radyan	rad
Katı açısı	Steradyan	sr

C-2 SI Ön Ekleri

Temel birimlerin *katlarını* ve *askatlarını* ifade edebilmek için bu birimlerin önüne bağımsız önekler getirilir. Katlar ve askatlar 10 un kuvvetleriyle çarpılarak elde edilir.

Kat	Ön Ek	Simgesi	Ast Kat	Ön Ek	Simgesi
10^{12}	tera	T	10^{-1}	desi	d
10^{9}	giga	G	10^{-2}	santi	c
10^{6}	mega	M	10^{-3}	mili	m
10^{3}	kilo	k	10^{-6}	mikro	μ
10^{2}	hekto	h	10^{-9}	nano	n
10^{1}	deka	da	10^{-12}	piko	p
			10^{-15}	femto	f
			10^{-18}	atto	a

C-3 Türetilmiş SI Birimleri

Ölçülen SI temel birimlerinden birçok nicelik türetilebilir [örneğin hacim, $(\text{uzunluk})^3$ birimine sahiptir]. İki grup türetilmiş birim verilmektedir: Bunlar doğrudan temel birimlerden türetilerek adlandırılanlar ve özel

adları olan birimlerdir. Kitapta kullanılan birimlerin çizelgede verilenlerden bazı yönleriyle ayrıldığına dikkat ediniz. Örneğin, kitapta yoğunluk g/cm^3 ile, molar kütle g/mol ile, molar hacim mL/mol ya da L/mol ile, molar derişim (molarite) mol/L ya da M ile ifade edilmektedir.

▶ Bu çizelgede iki farklı SI kullanımı görülmektedir: (a) Birimler tekildir; (b) birim kısaltmalarında / işareti yerine negatif üst yeğlenir, yani m/s ve m/s/s yerine ms^{-1} ve ms^{-2} kullanılır. Bazı bölümlerde, amaca bağlı olarak, birimlerin her iki gösterimi de kullanılmıştır.

Fiziksel Nicelik	Birim	Simgesi
Alan	Metre kare	m^2
Hacim	Metre küp	m^3
Hız	Saniyede metre	ms^{-1}
İvme	Saniyekarede metre	ms^{-2}
Yoğunluk	Metreküpte kilogram	$kg\ m^{-3}$
Molar kütle	Mol başına kilogram	$kg\ mol^{-1}$
Molar hacım	Mol başına metreküp	$m^3\ mol^{-1}$
Molar derişim	Metreküpte mol	$mol\ m^{-3}$

Fiziksel Nicelik	Birim	Simge	SI Birimleriyle
Frekans	hertz	Hz	s^{-1}
Kuvvet	newton	N	$kgms^{-2}$
Basınç	paskal	Pa	$N\ m^{-2}$
Enerji	Joule	J	$kg\ m^2\ s^{-2}$
Güç	wat	W	$J\ s^{-1}$
Elektrik yükü	kulon	C	A s
Potansiyel farkı	volt	V	$J\ A^{-1}\ s^{-1}$
Elektrik direnci	ohm	Ω	$V\ A^{-1}$

C-4 Vazgeçilmesi ya da Terkedilmesi İstenen Birimler

Sık kullanıldığı halde vazgeçilmesi ve zamanla terkedilmesi istenen birçok birim vardır. Bu kitapta da kullanılan bu birimlerin yavaş yavaş terkedilmesi beklenmektedir. Bu tür birimlerin bazıları aşağıda verilmektedir.

▶ Burada dolaylı şekilde, başka bir SI kuralı verilmektedir. Büyük sayıları (binlikleri) yazarken nokta kullanılmaz, onun yerine boşluk bırakılır. Örneğin, 101.325 yerine 101 325 yazılır. Ondalık sayılar virgülle ayrılır.

Fiziksel Nicelik	Birim	Simgesi	SI Birimleriyle Tanımı
Uzunluk	angstrom	Å	1×10^{-10} m
Kuvvet	din	dyn	1×10^{-5} N
Enerji	erg	erg	1×10^{-7} J
Enerji	kalori	kal	4,184 J
Basnıç	atmosfer	atm	101 325 Pa
Basınç	milimetre cıva	mmHg	133,322 Pa
Basınç	torr	Torr	133,322 Pa

D

Ek

Veriler Çizelgesi

ÇİZELGE D.1 Temel Hal Elektron Dizilimleri

Z	Element	Dizilim	Z	Element	Dizilim	Z	Element	Dizilim
1	H	$1s^1$	37	Rb	[Kr] $5s^1$	72	Hf	[Xe] $4f^{14}5d^26s^2$
2	He	$1s^2$	38	Sr	[Kr] $5s^2$	73	Ta	[Xe] $4f^{14}5d^36s^2$
3	Li	[He] $2s^1$	39	Y	[Kr] $4d^15s^2$	74	W	[Xe] $4f^{14}5d^46s^2$
4	Be	[He] $2s^2$	40	Zr	[Kr] $4d^25s^2$	75	Re	[Xe] $4f^{14}5d^56s^2$
5	B	[He] $2s^22p^1$	41	Nb	[Kr] $4d^45s^1$	76	Os	[Xe] $4f^{14}5d^66s^2$
6	C	[He] $2s^22p^2$	42	Mo	[Kr] $4d^55s^1$	77	Ir	[Xe] $4f^{14}5d^76s^2$
7	N	[He] $2s^22p^3$	43	Tc	[Kr] $4d^55s^2$	78	Pt	[Xe] $4f^{14}5d^96s^1$
8	O	[He] $2s^22p^4$	44	Ru	[Kr] $4d^75s^1$	79	Au	[Xe] $4f^{14}5d^{10}6s^1$
9	F	[He] $2s^22p^5$	45	Rh	[Kr] $4d^85s^1$	80	Hg	[Xe] $4f^{14}5d^{10}6s^2$
10	Ne	[He] $2s^22p^6$	46	Pd	[Kr] $4d^{10}$	81	Tl	[Xe] $4f^{14}5d^{10}6s^26p^1$
11	Na	[Ne] $3s^1$	47	Ag	[Kr] $4d^{10}5s^1$	82	Pb	[Xe] $4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$
12	Mg	[Ne] $3s^2$	48	Cd	[Kr] $4d^{10}5s^2$	83	Bi	[Xe] $4f^{14}5d^{10}6s^26p^3$
13	Al	[Ne] $3s^23p^1$	49	In	[Kr] $4d^{10}5s^25p^1$	84	Po	[Xe] $4f^{14}5d^{10}6s^26p^4$
14	Si	[Ne] $3s^23p^2$	50	Sn	[Kr] $4d^{10}5s^25p^2$	85	At	[Xe] $4f^{14}5d^{10}6s^26p^5$
15	P	[Ne] $3s^23p^3$	51	Sb	[Kr] $4d^{10}5s^25p^3$	86	Rn	[Xe] $4f^{14}5d^{10}6s^26p^6$
16	S	[Ne] $3s^23p^4$	52	Te	[Kr] $4d^{10}5s^25p^4$	87	Fr	[Rn] $7s^1$
17	Cl	[Ne] $3s^23p^5$	53	I	[Kr] $4d^{10}5s^25p^5$	88	Ra	[Rn] $7s^2$
18	Ar	[Ne] $3s^23p^6$	54	Xe	[Kr] $4d^{10}5s^25p^6$	89	Ac	[Rn] $6d^17s^2$
19	K	[Ar] $4s^1$	55	Cs	[Xe] $6s^1$	90	Th	[Rn] $6d^27s^2$
20	Ca	[Ar] $4s^2$	56	Ba	[Xe] $6s^2$	91	Pa	[Rn] $5f^26d^17s^2$
21	Sc	[Ar] $3d^14s^2$	57	La	[Xe] $5d^16s^2$	92	U	[Rn] $5f^36d^17s^2$
22	Ti	[Ar] $3d^24s^2$	58	Ce	[Xe] $4f^26s^2$	93	Np	[Rn] $5f^46d^17s^2$
23	V	[Ar] $3d^34s^2$	59	Pr	[Xe] $4f^36s^2$	94	Pu	[Rn] $5f^67s^2$
24	Cr	[Ar] $3d^54s^1$	60	Nd	[Xe] $4f^46s^2$	95	Am	[Rn] $5f^77s^2$
25	Mn	[Ar] $3d^54s^2$	61	Pm	[Xe] $4f^56s^2$	96	Cm	[Rn] $5f^76d^17s^2$
26	Fe	[Ar] $3d^64s^2$	62	Sm	[Xe] $4f^66s^2$	97	Bk	[Rn] $5f^97s^2$
27	Co	[Ar] $3d^74s^2$	63	Eu	[Xe] $4f^76s^2$	98	Cf	[Rn] $5f^{10}7s^2$
28	Ni	[Ar] $3d^84s^2$	64	Gd	[Xe] $4f^75d^16s^2$	99	Es	[Rn] $5f^{11}7s^2$
29	Cu	[Ar] $3d^{10}4s^1$	65	Tb	[Xe] $4f^96s^2$	100	Fm	[Rn] $5f^{12}7s^2$
30	Zn	[Ar] $3d^{10}4s^2$	66	Dy	[Xe] $4f^{10}6s^2$	101	Md	[Rn] $5f^{13}7s^2$
31	Ga	[Ar] $3d^{10}4s^24p^1$	67	Ho	[Xe] $4f^{11}6s^2$	102	No	[Rn] $5f^{14}7s^2$
32	Ge	[Ar] $3d^{10}4s^24p^2$	68	Er	[Xe] $4f^{12}6s^2$	103	Lr	[Rn] $5f^{14}6d^17s^2$
33	As	[Ar] $3d^{10}4s^24p^3$	69	Tm	[Xe] $4f^{13}6s^2$	104	Rf	[Rn] $5f^{14}6d^27s^2$
34	Se	[Ar] $3d^{10}4s^24p^4$	70	Yb	[Xe] $4f^{14}6s^2$	105	Db	[Rn] $5f^{14}6d^37s^2$
35	Br	[Ar] $3d^{10}4s^24p^5$	71	Lu	[Xe] $4f^{14}5d^16s^2$	106	Sg	[Rn] $5f^{14}6d^47s^2$
36	Kr	[Ar] $3d^{10}4s^24p^6$						

Soy gazların elektron dizilimleri kırmızı renkte gösterilmiştir. Bir asal gazın yapısı, kendisinden sonra gelen elementlerin içteki elektronlarına karşılıktır. Örneğin [He], 2. periyot; [Ne], 3. periyot; [Ar], 4. periyot; [Kr], 5. periyot; [Xe], 6. periyot ; [Rn], 7. periyot elementlerini gösterir.

ÇİZELGE D.2 Maddelerin 298,15 K'deki Termodinamik Özellikleri.* Maddeler 1 bar basınçtadır. Sulu çözeltilerinde çözünen türler birim etkinlikte (~1M) dir. H^+ için ΔH°_{ol}, ΔG°_{ol} ve S° değerleri sıfır alınarak sulu çözeltideki iyonların verileri buna göre verilmiştir.

İnorganik Maddeler

	ΔH°_{ol}, kJ mol^{-1}	ΔG°_{ol}, kJ mol^{-1}	S°, J mol^{-1} K^{-1}	C_p, J mol^{-1} K^{-1}
Aluminyum				
Al(k)	0	0	28,33	24,2
Al^{3+}(suda)	−531	−485	−321,7	—
$AlCl_3$(k)	−704,2	−628,8	110,7	91,1
Al_2Cl_6(g)	−1291	−1220,	490,	157,72
AlF_3(k)	−1504	−1425	66,44	75,1
Al_2O_3(α katı)	−1676	−1582	50,92	79,0
$Al(OH)_3$(k)	−1276	—	—	93,1
$Al_2(SO_4)_3$(k)	−3441	−3100,	239	259,4
Baryum				
Ba(k)	0	0	62,8	28,1
Ba^{2+}(suda)	−537,6	−560,8	9,6	—
$BaCO_3$(k)	−1216	−1138	112,1	85,35
$BaCl_2$(k)	−858,6	−810,4	123,7	75,1
BaF_2(k)	−1207	−1157	96,36	71,2
BaO(k)	−553,5	−525,1	70,42	47,3
$Ba(OH)_2$(k)	−944,7	—	—	101,6
$Ba(OH)_2 \cdot 8\,H_2O$(k)	−3342	−2793	427	—
$BaSO_4$(k)	−1473	−1362	132,2	101,8
Berilyum				
Be(k)	0	0	9,50	16,4
$BeCl_2$(α katı)	−490,4	−445,6	82,68	62,4
BeF_2(α katı)	−1027	−979,4	53,35	51,8
BeO(k)	−609,6	−580,3	14,14	25,6
Bizmut				
Bi(k)	0	0	56,74	25,5
$BiCl_3$(k)	−379,1	−315,0	177,0	105,0
Bi_2O_3(k)	−573,9	−493,7	151,5	113,5
Bor				
B(k)	0	0	5,86	11,1
BCl_3(s)	−427,2	−387,4	206,3	106,7
BF_3(g)	−1137	−1120,	254,1	50,45
B_2H_6(g)	35,6	86,7	232,1	56,7
B_2O_3(k)	−1273	−1194	53,97	62,8
Brom				
Br(g)	111,9	82,40	175,0	20,8
Br^-(suda)	−121,6	−104,0	82,4	−141,8
Br_2(g)	30,91	3,11	245,5	36,0
Br_2(s)	0	0	152,2	75,7
BrCl(g)	14,64	−0,98	240,1	35,0
BrF_3(g)	−255,6	−229,4	292,5	66,6
BrF_3(s)	−300,8	−240,5	178,2	124,6

*İnorganik bileşikler ve molekül başına iki karbona kadar karbon içeren organik bileşiklere ilişkin veriler şu kaynaktan alınmıştır: D.D. Wagman ve arkadaşları, *"The NBS Tables of Chemical Thermodynamic Properties: Selected Values for İnorganic and C_1 and C_2 Organic Substances in SI Units," Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 11(1982) Supplement 2. Diğer organik bileşiklere ilişkin veriler ise şu kaynaktan alınmıştır: J.A. Dean *Lange's Handbook of Chemistry*, 15 th ed., McGraw-Hill, 1999 ve diğer kaynaklar.

	ΔH°_{ol}, kJ mol^{-1}	ΔG°_{ol}, kJ mol^{-1}	S°, J mol^{-1} K^{-1}	C_p, J mol^{-1} K^{-1}
Kadmiyum				
Cd(k)	0	0	51,76	26,0
Cd^{2+}(suda)	−75,90	−77,61	−73,2	—
$CdCl_2$(k)	−391,5	−343,9	115,3	74,7
CdO(k)	−258,2	−228,4	54,8	43,4
Kalsiyum				
Ca(k)	0	0	41,42	25,9
Ca^{2+}(suda)	−542,8	−553,6	−53,1	—
$CaCO_3$(k)	−1207	−1129	92,9	80,6
$CaCl_2$(k)	−795,8	−748,1	104,6	72,9
CaF_2(k)	−1220,	−1167	68,87	67,0
CaH_2(k)	−186,2	−147,2	42	41,0
$Ca(NO_3)_2$(k)	−938,4	−743,1	193,3	149,4
CaO(k)	−635,1	−604,0	39,75	42,0
$Ca(OH)_2$(k)	−986,1	−898,5	83,39	87,5
$Ca_3(PO_4)_2$(k)	−4121	−3885	236,0	227,8
$CaSO_4$(k)	−1434	−1322	106,7	99,7
Karbon (Organik maddeler çizelgesine de bakınız)				
C(g)	716,7	671,3	158,0	20,8
C(elmas)	1,90	2,90	2,38	6,1
C(grafit)	0	0	5,74	8,5
CCl_4(g)	−102,9	−60,59	309,9	83,3
CCl_4(s)	−135,4	−65,21	216,4	130,7
C_2N_2(g)	309,0	297,4	241,9	56,8
CO(g)	−110,5	−137,2	197,7	29,1
CO_2(g)	−393,5	−394,4	213,7	37,1
CO_3^{2-}(suda)	−677,1	−527,8	−56,9	—
C_3O_2(g)	−93,72	−109,8	276,5	67,0
C_3O_2(s)	−117,3	−105,0	181,1	—
$COCl_2$(g)	−218,8	−204,6	283,5	57,7
COS(g)	−142,1	−169,3	231,6	41,5
CS_2(s)	89,70	65,27	151,3	76,4
Klor				
Cl(g)	121,7	105,7	165,2	21,8
Cl^-(suda)	−167,2	−131,2	56,5	−136,4
Cl_2(g)	0	0	223,1	33,9
ClF_3(g)	−163,2	−123,0	281,6	63,9
ClO_2(g)	102,5	120,5	256,8	42,0
Cl_2O(g)	80,3	97,9	266,2	45,4
Krom				
Cr(k)	0	0	23,77	23,4
$[Cr(H_2O)_6]^{3+}$(suda)	−1999	—	—	—
Cr_2O_3(k)	−1140,	−1058	81,2	118,7
CrO_4^{2-}(suda)	−881,2	−727,8	50,21	—
$Cr_2O_7^{2-}$(suda)	−1490,	−1301	261,9	—
Kobalt				
Co(k)	0	0	30,04	24,8
CoO(k)	−237,9	−214,2	52,97	55,2
$Co(OH)_2$(pembe katı)	−539,7	−454,3	79	68,8

(devam ediyor)

İnorganik Maddeler				
	ΔH°_{ol}, kJ mol^{-1}	ΔG°_{ol}, kJ mol^{-1}	S°, J mol^{-1} K^{-1}	C_p, J mol^{-1} K^{-1}
Bakır				
Cu(k)	0	0	33,15	24,4
Cu^{2+}(suda)	64,77	65,49	−99,6	—
$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$(k)	−1051	−893,6	186,2	—
CuO(k)	−157,3	−129,7	42,63	42,3
$Cu(OH)_2$(k)	−449,8	—	—	95,19
$CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$(k)	−2280,	−1880,	300,4	—
Flor				
F(g)	78,99	61,91	158,8	22,7
F^-(suda)	−332,6	−278,8	−13,8	−106,7
F_2(g)	0	0	202,8	31,3
Helyum				
He(g)	0	0	126,2	20,8
Hidrojen				
H(g)	218,0	203,2	114,7	20,8
H^+(suda)	0	0	0	0
H_2(g)	0	0	130,7	28,8
HBr(g)	−36,40	−53,45	198,7	29,1
HCl(g)	−92,31	−95,30	186,9	29,1
HCl(suda)	−167,2	−131,2	56,5	−136,4
$HClO_2$(suda)	−51,9	5,9	188,3	—
HCN(g)	135,1	124,7	201,8	35,9
HF(g)	−271,1	−273,2	173,8	—
HI(g)	26,48	1,70	206,6	29,2
HNO_3(s)	−174,1	−80,71	155,6	109,9
HNO_3(suda)	−207,4	−111,3	146,4	−86,6
H_2O(g)	−241,8	−228,6	188,8	33,6
H_2O(s)	−285,8	−237,1	69,91	75,3
H_2O_2(g)	−136,3	−105,6	232,7	43,1
H_2O_2(s)	−187,8	−120,4	109,6	89,1
H_2S(g)	−20,63	−33,56	205,8	34,2
H_2SO_4(s)	−814,0	−690,0	156,9	138,9
H_2SO_4(suda)	−909,3	−744,5	20,1	−293,0
İyot				
I(g)	106,8	70,25	180,8	20,8
I^-(suda)	−55,19	−51,57	111,3	−142,3
I_2(g)	62,44	19,33	260,7	36,9
I_2(k)	0	0	116,1	54,4
IBr(g)	40,84	3,69	258,8	36,4
ICl(g)	17,78	−5,46	247,6	35,6
ICl(s)	−23,89	−13,58	135,1	135,1
Demir				
Fe(k)	0	0	27,28	25,1
Fe^{2+}(suda)	−89,1	−78,90	−137,7	—
Fe^{3+}(suda)	−48,5	−4,7	−315,9	—
$FeCO_3$(k)	−740,6	−666,7	92,9	82,1
$FeCl_3$(k)	−399,5	−334,0	−142,3	96,7
FeO(k)	−272,0	—	—	49,91
Fe_2O_3(k)	−824,2	−742,2	87,40	103,9
Fe_3O_4(k)	−1118	−1015	146,4	143,4
$Fe(OH)_3$(k)	−823,0	−696,5	106,7	101,7

İnorganik Maddeler				
	ΔH_{ol}°, kJ mol^{-1}	ΔG_{ol}°, kJ mol^{-1}	S°, J mol^{-1} K^{-1}	C_p, J mol^{-1} K^{-1}
Kurşun				
Pb(k)	0	0	64,81	26,4
Pb^{2+}(suda)	−1,7	−24,43	10,5	—
PbI_2(k)	−175,5	−173,6	174,9	77,4
PbO_2(k)	−277,4	−217,3	68,6	64,6
$PbSO_4$(k)	−919,9	−813,1	148,6	103,2
Lityum				
Li(g)	159,4	126,7	138,8	20,8
Li(k)	0	0	29,12	24,8
Li^+(suda)	−278,5	−293,3	13,4	68,6
LiCl(k)	−408,6	−384,4	59,33	48,0
LiOH(k)	−484,9	−439,0	42,80	49,6
$LiNO_3$(k)	−483,1	−381,1	90,0	—
Magnezyum				
Mg(k)	0	0	32,68	24,9
Mg^{2+}(suda)	−466,9	−454,8	−138,1	—
$MgCl_2$(k)	−641,3	−591,8	89,62	71,4
$MgCO_3$(k)	−1096	−1012	65,7	75,5
MgF_2(k)	−1123	−1070	57,24	61,6
MgO(k)	−601,7	−569,4	26,94	37,2
$Mg(OH)_2$(k)	−924,5	−833,5	63,18	77,0
MgS(k)	−346,0	−341,8	50,33	45,6
$MgSO_4$(k)	−1285	−1171	91,6	96,5
Mangan				
Mn(k)	0	0	32,01	26,3
Mn^{2+}(suda)	−220,8	−228,1	−73,6	50,0
MnO_2(k)	−520,0	−465,1	53,05	54,1
MnO_4^-(suda)	−541,4	−447,2	191,2	−82,0
Civa				
Hg(g)	61,32	31,82	175,0	20,8
Hg(s)	0	0	76,02	28,0
HgO(k)	−90,83	−58,54	70,29	44,1
Azot				
N(g)	472,7	455,6	153,3	20,8
N_2(g)	0	0	191,6	29,1
NF_3(g)	−124,7	−83,2	260,7	53,4
NH_3(g)	−46,11	−16,45	192,5	35,1
NH_3(suda)	−80,29	−26,50	111,3	—
NH_4^+(suda)	−132,5	−79,31	113,4	79,9
NH_4Br(k)	−270,8	−175,2	113	96,0
NH_4Cl(k)	−314,4	−202,9	94,6	84,1
NH_4F(k)	−464,0	−348,7	71,96	65,3
NH_4HCO_3(k)	−849,4	−665,9	120,9	—
NH_4I(k)	−201,4	−112,5	117	—
NH_4NO_3(k)	−365,6	−183,9	151,1	139,3
NH_4NO_3(suda)	−339,9	−190,6	259,8	−6,7
$(NH_4)_2SO_4$(k)	−1181	−901,7	220,1	187,5
N_2H_4(g)	95,40	159,4	238,5	48,4
N_2H_4(s)	50,63	149,3	121,2	98,9
NO(g)	90,25	86,55	210,8	29,9
N_2O(g)	82,05	104,2	219,9	38,6

(devam ediyor)

İnorganik Maddeler				
	ΔH°_{ol}, kJ mol^{-1}	ΔG°_{ol}, kJ mol^{-1}	k°, J mol^{-1} K^{-1}	C_p, J mol^{-1} K^{-1}
$NO_2(g)$	33,18	51,31	240,1	37,2
$N_2O_4(g)$	9,16	97,89	304,3	79,2
$N_2O_4(s)$	−19,50	97,54	209,2	142,7
$N_2O_5(g)$	11,3	115,1	355,7	95,3
NO_3^-(suda)	−205,0	−108,7	146,4	−86,6
NOBr(g)	82,17	82,42	273,7	45,5
NOCl(g)	51,71	66,08	261,7	44,7
Oksijen				
O(g)	249,2	231,7	161,1	21,9
$O_2(g)$	0	0	205,1	29,4
$O_3(g)$	142,7	163,2	238,9	39,2
OH^-(suda)	−230,0	−157,2	−10,75	−148,5
$OF_2(g)$	24,7	41,9	247,4	43,3
Fosfor				
P(α beyaz)	0	0	41,09	23,8
P(kırmızı)	−17,6	−12,1	22,80	21,2
$P_4(g)$	58,91	24,44	280,0	67,2
$PCl_3(g)$	−287,0	−267,8	311,8	71,8
$PCl_5(g)$	−374,9	−305,0	364,6	112,8
$PH_3(g)$	5,4	13,4	210,2	37,1
$P_4O_{10}(k)$	−2984	−2698	228,9	211,71
PO_4^{3-}(suda)	−1277	−1019	−222	—
Potasyum				
K(g)	89,24	60,59	160,3	20,8
K(k)	0	0	64,18	29,6
K^+(suda)	−252,4	−283,3	102,5	21,8
KBr(k)	−393,8	−380,7	95,90	52,4
KCN(k)	−113,0	−101,9	128,5	66,3
KCl(k)	−436,7	−409,1	82,59	51,3
$KClO_3(k)$	−397,7	−296,3	143,1	100,3
$KClO_4(k)$	−432,8	−303,1	151,0	112,4
KF(k)	−567,3	−537,8	66,57	49,0
KI(k)	−327,9	−324,9	106,3	52,9
$KNO_3(k)$	−494,6	−394,9	133,1	96,4
KOH(k)	−424,8	−379,1	78,9	68,9
KOH(suda)	−482,4	−440,5	91,6	−126,8
$K_2SO_4(k)$	−1438	−1321	175,6	131,5
Silisyum				
Si(k)	0	0	18,83	20,0
$SiH_4(g)$	34,3	56,9	204,6	42,8
$Si_2H_6(g)$	80,3	127,3	272,7	80,8
SiO_2(kuartz)	−910,9	−856,6	41,84	44,4
Gümüş				
Ag(k)	0	0	42,55	25,4
Ag^+(suda)	105,6	77,11	72,68	21,8
AgBr(k)	−100,4	−96,90	107,1	52,4
AgCl(k)	−127,1	−109,8	96,2	50,8
AgI(k)	−61,84	−66,19	115,5	56,8
$AgNO_3(k)$	−124,4	−33,41	140,9	93,1
$Ag_2O(k)$	−31,05	−11,20	121,3	65,9
$Ag_2SO_4(k)$	−715,9	−618,4	200,4	131,4

İnorganik Maddeler	ΔH°_{ol}, kJ mol^{-1}	ΔG°_{ol}, kJ mol^{-1}	S°, J mol^{-1} K^{-1}	C_p, J mol^{-1} K^{-1}
Sodyum				
Na(g)	107,3	76,76	153,7	20,8
Na(k)	0	0	51,21	28,2
Na^+(suda)	−240,1	−261,9	59,0	46,4
Na_2(g)	142,1	103,9	230,2	37,6
NaBr(k)	−361,1	−349,0	86,82	51,4
Na_2CO_3(k)	−1131	−1044	135,0	112,3
$NaHCO_3$(k)	−950,8	−851,0	101,7	87,6
NaCl(k)	−411,2	−384,1	72,13	50,5
NaCl(suda)	−407,3	−393,1	115,5	−90,0
$NaClO_3$(k)	−365,8	−262,3	123,4	—
$NaClO_4$(k)	−383,3	−254,9	142,3	111,3
NaF(k)	−573,6	−543,5	51,46	46,9
NaH(k)	−56,28	−33,46	40,02	36,4
NaI(k)	−287,8	−286,1	98,53	52,1
$NaNO_3$(k)	−467,9	−367,0	116,5	92,9
$NaNO_3$(suda)	−447,5	−373,2	205,4	−40,2
Na_2O_2(k)	−510,9	−447,7	95,0	89,2
NaOH(k)	−425,6	−379,5	64,46	59,5
NaOH(suda)	−470,1	−419,2	48,1	−102,1
NaH_2PO_4(k)	−1537	−1386	127,5	−116,86
Na_2HPO_4(k)	−1748	−1608	150,5	135,3
Na_3PO_4(k)	−1917	−1789	173,8	153,47
$NaHSO_4$(k)	−1126	−992,8	113,0	—
Na_2SO_4(k)	−1387	−1270	149,6	128,2
Na_2SO_4(suda)	−1390,	−1268	138,1	−201,0
$Na_2SO_4 \cdot 10\ H_2O$(k)	−4327	−3647	592,0	—
$Na_2S_2O_3$(k)	−1123	−1028	155	—
Sülfür				
S(g)	278,8	238,3	167,8	23,7
S(rombik)	0	0	31,80	22,6
S_8(g)	102,3	49,63	431,0	156,06
S_2Cl_2(g)	−18,4	−31,8	331,5	124,3
SF_6(g)	−1209	−1105	291,8	97,0
SO_2(g)	−296,8	−300,2	248,2	39,9
SO_3(g)	−395,7	−371,1	256,8	50,7
SO_4^{2-}(suda)	−909,3	−744,5	20,1	−293,0
$S_2O_3^{2-}$(suda)	−648,5	−522,5	67	—
SO_2Cl_2(g)	−364,0	−320,0	311,9	77,0
SO_2Cl_2(s)	−394,1	—	—	−134,0
Kalay				
Sn(kırmızı)	0	0	51,55	27,0
Sn(gri)	−2,09	0,13	44,14	25,8
$SnCl_4$(k)	−511,3	−440,1	258,6	165,3
SnO(k)	−285,8	−256,9	56,5	44,3
SnO_2(k)	−580,7	−519,6	52,3	52,6
Titanyum				
Ti(k)	0	0	30,63	25,0
$TiCl_4$(g)	−763,2	−726,7	354,9	95,4
$TiCl_4$(s)	−804,2	−737,2	252,3	145,2
TiO_2(k)	−944,7	−889,5	50,33	55,0

(devam ediyor)

İnorganik Maddeler

	ΔH°_{ol}, kJ mol^{-1}	ΔG°_{ol}, kJ mol^{-1}	S°, J mol^{-1} K^{-1}	C_p, J mol^{-1} K^{-1}
Uranyum				
U(k)	0	0	50,21	27,7
UF_6(g)	−2147	−2064	377,9	129,6
UF_6(k)	−2197	−2069	227,6	166,8
UO_2(k)	−1085	−1032	77,03	63,6
Çinko				
Zn(k)	0	0	41,63	25,4
Zn^{2+}(suda)	−153,9	−147,1	112,1	46,0
ZnO(k)	−138,3	−318,3	43,64	40,3

Organik Maddeler

	Adı	ΔH°_{ol}, kJ mol^{-1}	ΔG°_{ol}, kJ mol^{-1}	S°, J mol^{-1} K^{-1}	C_p, J mol^{-1} K^{-1}
CH_4(g)	Metan(g)	−74,81	−50,72	186,3	35,7
C_2H_2(g)	Asetilen(g)	226,7	209,2	200,9	44,0
C_2H_4(g)	Etilen(g)	52,26	68,15	219,6	42,9
C_2H_6(g)	Etan(g)	−84,68	−32,82	229,6	52,5
C_3H_8(g)	Propan(g)	−103,8	−23,3	270,3	73,6
C_4H_{10}(g)	Butan(g)	−125,6	−17,1	310,2	97,5
C_6H_6(g)	Benzen(g)	82,6	129,8	269,3	82,4
C_6H_6(s)	Benzen(s)	49,0	124,5	173,4	136,0
C_6H_{12}(g)	Sikloheksan(g)	−123,4	32,0	298,4	106,3
C_6H_{12}(s)	Sikloheksan(s)	−156,4	26,9	204,4	154,9
$C_{10}H_8$(g)	Naftalin(g)	150,6	224,2	333,2	131,9
$C_{10}H_8$(k)	Naftalin(k)	77,9	201,7	167,5	165,7
CH_2O(g)	Formaldehit(g)	−108,6	−102,5	218,8	35,4
CH_3CHO(g)	Asetaldehit(g)	−166,2	−128,9	250,3	55,3
CH_3CHO(s)	Asetaldehit(s)	−192,3	−128,1	160,2	89,0
CH_3OH(g)	Metanol(g)	−200,7	−162,0	239,8	44,1
CH_3OH(s)	Metanol(s)	−238,7	−166,3	126,8	81,1
CH_3CH_2OH(g)	Etanol(g)	−235,1	−168,5	282,7	65,6
CH_3CH_2OH(s)	Etanol(s)	−277,7	−174,8	160,7	112,3
C_6H_5OH(k)	Fenol(k)	−165,1	−50,4	144,0	127,4
$(CH_3)_2CO$(g)	Aseton(g)	−216,6	−153,0	295,0	74,5
$(CH_3)_2CO$(s)	Aseton(s)	−247,6	−155,6	200,5	126,3
CH_3COOH(g)	Asetik asit(g)	−432,3	−374,0	282,5	63,4
CH_3COOH(s)	Asetik asit(s)	−484,5	−389,9	159,8	123,3
CH_3COOH(suda)	Asetik asit(suda)	−485,8	−396,5	178,7	−6,3
C_6H_5COOH(k)	Benzoik asit(k)	−385,2	−245,3	167,6	146,8
CH_3NH_2(g)	Metilamin(g)	−22,97	32,16	243,4	50,1
$C_6H_5NH_2$(g)	Anilin(g)	86,86	166,8	319,3	107,9
$C_6H_5NH_2$(s)	Anilin(s)	31,6	149,2	191,3	191,9

ÇİZELGE D.3 Denge Sabitleri

A. Zayıf Asitlerin 25°C deki İyonlaşma Sabitleri

Asidin Adı	Formülü	K_a	Asidin Adı	Formülü	K_a
Asetik	$HC_2H_3O_2$	$1,8 \times 10^{-5}$	Hiponitröz	$HON{=}NOH$	$8,9 \times 10^{-8}$
Akrilik	$HC_3H_3O_2$	$5,5 \times 10^{-5}$		$HON{=}NO^-$	4×10^{-12}
Arsenik	H_3AsO_4	$6,0 \times 10^{-3}$	İyodik	HIO_3	$1,6 \times 10^{-1}$
	$H_2AsO_4^-$	$1,0 \times 10^{-7}$	İyotasetik	$HC_2H_2IO_2$	$6,7 \times 10^{-4}$
	$HAsO_4^{2-}$	$3,2 \times 10^{-12}$	Malonik	$H_2C_3H_2O_4$	$1,5 \times 10^{-3}$
Arsenöz	H_3AsO_3	$6,6 \times 10^{-10}$		$HC_3H_2O_4^-$	$2,0 \times 10^{-6}$
Benzoik	$HC_7H_5O_2$	$6,3 \times 10^{-5}$	Nitröz	HNO_2	$7,2 \times 10^{-4}$
Bromasetik	$HC_2H_2BrO_2$	$1,3 \times 10^{-3}$	Oksalik	$H_2C_2O_4$	$5,4 \times 10^{-2}$
Bütirik	$HC_4H_7O_2$	$1,5 \times 10^{-5}$		$HC_2O_4^-$	$5,3 \times 10^{-5}$
Karbonik	H_2CO_3	$4,4 \times 10^{-7}$	Fenol	HOC_6H_5	$1,0 \times 10^{-10}$
	HCO_3^-	$4,7 \times 10^{-11}$	Fenilasetik	$HC_8H_7O_2$	$4,9 \times 10^{-5}$
Klorasetik	$HC_2H_2ClO_2$	$1,4 \times 10^{-3}$	Fosforik	H_3PO_4	$7,1 \times 10^{-3}$
Kloröz	$HClO_2$	$1,1 \times 10^{-2}$		$H_2PO_4^-$	$6,3 \times 10^{-8}$
Sitrik	$H_3C_6H_5O_7$	$7,4 \times 10^{-4}$		HPO_4^{2-}	$4,2 \times 10^{-13}$
	$H_2C_6H_5O_7^-$	$1,7 \times 10^{-5}$	Fosforöz	H_3PO_3	$3,7 \times 10^{-2}$
	$HC_6H_5O_7^{2-}$	$4,0 \times 10^{-7}$		$H_2PO_3^-$	$2,1 \times 10^{-7}$
Siyanik	$HOCN$	$3,5 \times 10^{-4}$	Propiyonik	$HC_3H_5O_2$	$1,3 \times 10^{-5}$
Diklorasetik	$HC_2HCl_2O_2$	$5,5 \times 10^{-2}$	Pirofosforik	$H_4P_2O_7$	$3,0 \times 10^{-2}$
Florasetik	$HC_2H_2FO_2$	$2,6 \times 10^{-3}$		$H_3P_2O_7^-$	$4,4 \times 10^{-3}$
Formik	$HCHO_2$	$1,8 \times 10^{-4}$		$H_2P_2O_7^{2-}$	$2,5 \times 10^{-7}$
Hidrazoik	HN_3	$1,9 \times 10^{-5}$		$HP_2O_7^{3-}$	$5,6 \times 10^{-10}$
Hidrosiyanik	HCN	$6,2 \times 10^{-10}$	Selenik	H_2SeO_4	kuvvetli asit
Hidroflorik	HF	$6,6 \times 10^{-4}$		$HSeO_4^-$	$2,2 \times 10^{-2}$
Hidrojen peroksit	H_2O_2	$2,2 \times 10^{-12}$	Selenöz	H_2SeO_3	$2,3 \times 10^{-3}$
Hidroselenik	H_2Se	$1,3 \times 10^{-4}$		$HSeO_3^-$	$5,4 \times 10^{-9}$
	HSe^-	1×10^{-11}	Süksinik	$H_2C_4H_4O_4$	$6,2 \times 10^{-5}$
Hidrosülfürik	H_2S	$1,0 \times 10^{-7}$		$HC_4H_4O_4^-$	$2,3 \times 10^{-6}$
	HS^-	1×10^{-19}	Sülfürik	H_2SO_4	kuvvetli asit
Hidrotellürik	H_2Te	$2,3 \times 10^{-3}$		HSO_4^-	$1,1 \times 10^{-2}$
	HTe^-	$1,6 \times 10^{-11}$	Sülfüröz	H_2SO_3	$1,3 \times 10^{-2}$
Hipobromöz	$HOBr$	$2,5 \times 10^{-9}$		HSO_3^-	$6,2 \times 10^{-8}$
Hipokloröz	$HOCl$	$2,9 \times 10^{-8}$	Tiyofenol	HSC_6H_5	$3,2 \times 10^{-7}$
Hipoiyodöz	HOI	$2,3 \times 10^{-11}$	Triklorasetik	$HC_2Cl_3O_2$	$3,0 \times 10^{-1}$

B. Zayıf Bazların 25°C de İyonlaşma Sabitleri

Bazın Adı	Formülü	K_b	Bazın Adı	Formülü	K_b
Amonyak	NH_3	$1,8 \times 10^{-5}$	İzokinolin	C_9H_7N	$2,5 \times 10^{-9}$
Anilin	$C_6H_5NH_2$	$7,4 \times 10^{-10}$	Metiamin	CH_3NH_2	$4,2 \times 10^{-4}$
Codein	$C_{18}H_{21}O_3N$	$8,9 \times 10^{-7}$	Morfin	$C_{17}H_{19}O_3N$	$7,4 \times 10^{-7}$
Dietilamin	$(C_2H_5)_2NH$	$6,9 \times 10^{-4}$	Piperdin	$C_5H_{11}N$	$1,3 \times 10^{-3}$
Dimetilamin	$(CH_3)_2NH$	$5,9 \times 10^{-4}$	Piridin	C_5H_5N	$1,5 \times 10^{-9}$
Etilamin	$C_2H_5NH_2$	$4,3 \times 10^{-4}$	Kinolin	C_9H_7N	$6,3 \times 10^{-10}$
Hidrazin	NH_2NH_2	$8,5 \times 10^{-7}$	Trietanolamin	$C_6H_{15}O_3N$	$5,8 \times 10^{-7}$
	$NH_2NH_3^+$	$8,9 \times 10^{-16}$	Trietilamin	$(C_2H_5)_3N$	$5,2 \times 10^{-4}$
Hidroksilamin	NH_2OH	$9,1 \times 10^{-9}$	Trimetilamin	$(CH_3)_3N$	$6,3 \times 10^{-5}$

(devam ediyor)

C. Çözünürlük Çarpımları[a]

Katının adı	Formülü	$K_{çç}$	Katının adı	Formülü	$K_{çç}$
Aluminyum hidroksit	$Al(OH)_3$	$1,3 \times 10^{-33}$	Kalsiyum karbonat	$CaCO_3$	$2,8 \times 10^{-9}$
Aluminyum fosfat	$AlPO_4$	$6,3 \times 10^{-19}$	Kalsiyum kromat	$CaCrO_4$	$7,1 \times 10^{-4}$
Bakır(I) klorür	$CuCl$	$1,2 \times 10^{-6}$	Kalsiyum florür	CaF_2	$5,3 \times 10^{-9}$
Bakır(I) siyanür	$CuCN$	$3,2 \times 10^{-20}$	Kalsiyum hidroksit	$Ca(OH)_2$	$5,5 \times 10^{-6}$
Bakır(I) iyodür	CuI	$1,1 \times 10^{-12}$	Kalsiyum hidrojen fosfat	$CaHPO_4$	1×10^{-7}
Bakır(II) arsenat	$Cu_3(AsO_4)_2$	$7,6 \times 10^{-36}$			
Bakır(II) karbonat	$CuCO_3$	$1,4 \times 10^{-10}$	Kalsiyum fosfat	$Ca_3(PO_4)_2$	$2,0 \times 10^{-29}$
Bakır(II) kromat	$CuCrO_4$	$3,6 \times 10^{-6}$	Kalsiyum okzalat	CaC_2O_4	4×10^{-9}
Bakır(II) ferrosiyanür	$Cu_2[Fe(CN)_6]$	$1,3 \times 10^{-16}$	Kalsiyum sülfat	$CaSO_4$	$9,1 \times 10^{-6}$
Bakır(II) hidroksit	$Cu(OH)_2$	$2,2 \times 10^{-20}$	Kalsiyum sülfit	$CaSO_3$	$6,8 \times 10^{-8}$
Bakır(II) sülfür[b]	CuS	6×10^{-37}	Kobalt(II) karbonat	$CoCO_3$	$1,4 \times 10^{-13}$
Baryum karbonat	$BaCO_3$	$5,1 \times 10^{-9}$	Kobalt(II) hidroksit	$Co(OH)_2$	$1,6 \times 10^{-15}$
Baryum kromat	$BaCrO_4$	$1,2 \times 10^{-10}$	Kobalt(III) hidroksit	$Co(OH)_3$	$1,6 \times 10^{-44}$
Baryum florür	BaF_2	$1,0 \times 10^{-6}$	Krom(II) hidroksit	$Cr(OH)_2$	2×10^{-16}
Baryum hidroksit	$Ba(OH)_2$	5×10^{-3}	Krom(III) hidroksit	$Cr(OH)_3$	$6,3 \times 10^{-31}$
Baryum sülfat	$BaSO_4$	$1,1 \times 10^{-10}$	Kalay(II) hidroksit	$Sn(OH)_2$	$1,4 \times 10^{-28}$
Baryum sülfit	$BaSO_3$	8×10^{-7}	Kalay(II) sülfür[b]	SnS	1×10^{-26}
Baryum tiyosulfat	BaS_2O_3	$1,6 \times 10^{-5}$	Kurşun(II) arsenat	$Pb_3(AsO_4)_2$	$4,0 \times 10^{-36}$
Bizmutil klorür	$BiOCl$	$1,8 \times 10^{-31}$	Kurşun(II) azotür	$Pb(N_3)_2$	$2,5 \times 10^{-9}$
Bizmutil hidroksit	$BiOOH$	4×10^{-10}	Kurşun(II) bromür	$PbBr_2$	4×10^{-5}
Cıva(I) bromür	Hg_2Br_2	$5,6 \times 10^{-23}$	Kurşun(II) karbonat	$PbCO_3$	$7,4 \times 10^{-14}$
Cıva(I) klorür	Hg_2Cl_2	$1,3 \times 10^{-18}$	Kurşun(II)klorür	$PbCl_2$	$1,6 \times 10^{-5}$
Cıva(I) iyodür	Hg_2I_2	$4,5 \times 10^{-29}$	Kurşun(II) kromat	$PbCrO_4$	$2,8 \times 10^{-13}$
Cıva(II) sülfür[b]	HgS	2×10^{-53}	Kurşun(II) florür	PbF_2	$2,7 \times 10^{-8}$
Çinko karbonat	$ZnCO_3$	$1,4 \times 10^{-11}$	Kurşun(II) hidroksit	$Pb(OH)_2$	$1,2 \times 10^{-15}$
Çinko hidroksit	$Zn(OH)_2$	$1,2 \times 10^{-17}$	Kurşun(II) iyodür	PbI_2	$7,1 \times 10^{-9}$
Çinko okzalat	ZnC_2O_4	$2,7 \times 10^{-8}$	Kurşun(II) sülfat	$PbSO_4$	$1,6 \times 10^{-8}$
Çinko fosfat	$Zn_3(PO_4)_2$	$9,0 \times 10^{-33}$	Kurun(II) sülfür[b]	PbS	3×10^{-28}
Çinko sülfür[b]	ZnS	2×10^{-25}	Lityum karbonat	Li_2CO_3	$2,5 \times 10^{-2}$
Demir(II) karbonat	$FeCO_3$	$3,2 \times 10^{-11}$	Lityum florür	LiF	$3,8 \times 10^{-3}$
Demir(II) hidroksit	$Fe(OH)_2$	8×10^{-16}	Lityum fosfat	Li_3PO_4	$3,2 \times 10^{-9}$
Demir(II) sülfür	FeS	6×10^{-19}	Mağnezyum amonyum fosfat	$MgNH_4PO_4$	$2,5 \times 10^{-13}$
Demir(III) arsenat	$FeAsO_4$	$5,7 \times 10^{-21}$			
Demir(III) ferrosiyanür	$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$	$3,3 \times 10^{-41}$	Mağnezyum karbonat	$MgCO_3$	$3,5 \times 10^{-8}$
Demir(III) hidroksit	$Fe(OH)_3$	4×10^{-38}	Mağnezyum florür	MgF_2	$3,7 \times 10^{-8}$
Demir(III) fosfat	$FePO_4$	$1,3 \times 10^{-22}$	Mağnezyum hidroksit	$Mg(OH)_2$	$1,8 \times 10^{-11}$
Gümüş arsenat	Ag_3AsO_4	$1,0 \times 10^{-22}$	Mağnezyum fosfat	$Mg_3(PO_4)_2$	1×10^{-25}
Gümüş azotür	AgN_3	$2,8 \times 10^{-9}$	Mangan(II) hidroksit	$Mn(OH)_2$	$1,9 \times 10^{-13}$
Gümüş bromür	$AgBr$	5×10^{-13}	Mangan(II) karbonat	$MnCO_3$	$1,8 \times 10^{-11}$
Gümüş karbonat	Ag_2CO_3	$8,5 \times 10^{-12}$	Mangan(II) sülfür	MnS	3×10^{-14}
Gümüş klorür	$AgCl$	$1,8 \times 10^{-10}$	Nikel(II) karbonat	$NiCO_3$	$6,6 \times 10^{-9}$
Gümüş kromat	Ag_2CrO_4	$2,4 \times 10^{-12}$	Nikel(II) hidroksit	$Ni(OH)_2$	$2,0 \times 10^{-15}$
Gümüş siyanür	$AgCN$	$1,2 \times 10^{-16}$	Skandiyum florür	ScF_3	$4,2 \times 10^{-18}$
Gümüş iyodat	$AgIO_3$	$3,0 \times 10^{-8}$	Skandiyum hidroksit	$Sc(OH)_3$	$8,0 \times 10^{-31}$
Gümüş iyodür	AgI	$8,5 \times 10^{-17}$	Stronsiyum florür	SrF_2	$2,5 \times 10^{-9}$
Gümüş nitrit	$AgNO_2$	$6,0 \times 10^{-4}$	Stronsiyum karbonat	$SrCO_3$	$1,1 \times 10^{-10}$
Gümüş sulfat	Ag_2SO_4	$1,4 \times 10^{-5}$	Stronsiyum kromat	$SrCrO_4$	$2,2 \times 10^{-5}$
Gümüş sülfür[b]	Ag_2S	6×10^{-51}	Stronsiyum sülfat	$SrSO_4$	$3,2 \times 10^{-7}$
Gümüş sülfit	Ag_2SO_3	$1,5 \times 10^{-14}$	Talyum(I) bromür	$TlBr$	$3,4 \times 10^{-6}$
Gümüş tiyosiyanat	$AgSCN$	$1,0 \times 10^{-12}$	Talyum(I) klorür	$TlCl$	$1,7 \times 10^{-4}$
Kadmiyum karbonat	$CdCO_3$	$5,2 \times 10^{-12}$	Talyum(I) iyodür	TlI	$6,5 \times 10^{-8}$
Kadmiyum hidroksit	$Cd(OH)_2$	$2,5 \times 10^{-14}$	Talyum(III) hidrorksit	$Tl(OH)_3$	$6,3 \times 10^{-46}$
Kadmiyum sülfür[b]	CdS	8×10^{-28}			

D. Kompleks İyonların Oluşum Sabitleri[c,d]

Formül	K_{ol}	Formül	K_{ol}	Formül	K_{ol}
$[Ag(CN)_2]^-$	$5{,}6 \times 10^{18}$	$[Co(ox)_3]^{3-}$	10^{20}	$[HgI_4]^{2-}$	$6{,}8 \times 10^{29}$
$[Ag(EDTA)]^{3-}$	$2{,}1 \times 10^{7}$	$[Cr(EDTA)]^-$	10^{23}	$[Hg(ox)_2]^{2-}$	$9{,}5 \times 10^{6}$
$[Ag(en)_2]^+$	$5{,}0 \times 10^{7}$	$[Cr(OH)_4]^-$	8×10^{29}	$[Ni(CN)_4]^{2-}$	2×10^{31}
$[Ag(NH_3)_2]^+$	$1{,}6 \times 10^{7}$	$[CuCl_3]^{2-}$	5×10^{5}	$[Ni(EDTA)]^{2-}$	$3{,}6 \times 10^{18}$
$[Ag(SCN)_4]^{3-}$	$1{,}2 \times 10^{10}$	$[Cu(CN)_4]^{3-}$	$2{,}0 \times 10^{30}$	$[Ni(en)_3]^{2+}$	$2{,}1 \times 10^{18}$
$[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$	$1{,}7 \times 10^{13}$	$[Cu(EDTA)]^{2-}$	5×10^{18}	$[Ni(NH_3)_6]^{2+}$	$5{,}5 \times 10^{8}$
$[Al(EDTA)]^-$	$1{,}3 \times 10^{16}$	$[Cu(en)_2]^{2+}$	1×10^{20}	$[Ni(ox)_3]^{4-}$	3×10^{8}
$[Al(OH)_4]^-$	$1{,}1 \times 10^{33}$	$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$	$1{,}1 \times 10^{13}$	$[PbCl_3]^-$	$2{,}4 \times 10^{1}$
$[Al(ox)_3]^{3-}$	2×10^{16}	$[Cu(ox)_2]^{2-}$	3×10^{8}	$[Pb(EDTA)]^{2-}$	2×10^{18}
$[CdCl_4]^{2-}$	$6{,}3 \times 10^{2}$	$[Fe(CN)_6]^{4-}$	10^{37}	$[PbI_4]^{2-}$	$3{,}0 \times 10^{4}$
$[Cd(CN)_4]^{2-}$	$6{,}0 \times 10^{18}$	$[Fe(EDTA)]^{2-}$	$2{,}1 \times 10^{14}$	$[Pb(OH)_3]^-$	$3{,}8 \times 10^{14}$
$[Cd(en)_3]^{2+}$	$1{,}2 \times 10^{12}$	$[Fe(en)_3]^{2+}$	$5{,}0 \times 10^{9}$	$[Pb(ox)_2]^{2-}$	$3{,}5 \times 10^{6}$
$[Cd(NH_3)_4]^{2+}$	$1{,}3 \times 10^{7}$	$[Fe(ox)_3]^{4-}$	$1{,}7 \times 10^{5}$	$[Pb(S_2O_3)_3]^{4-}$	$2{,}2 \times 10^{6}$
$[Co(EDTA)]^{2-}$	$2{,}0 \times 10^{16}$	$[Fe(CN)_6]^{3-}$	10^{42}	$[PtCl_4]^{2-}$	1×10^{16}
$[Co(en)_3]^{2+}$	$8{,}7 \times 10^{13}$	$[Fe(EDTA)]^-$	$1{,}7 \times 10^{24}$	$[Pt(NH_3)_6]^{2+}$	2×10^{35}
$[Co(NH_3)_6]^{2+}$	$1{,}3 \times 10^{5}$	$[Fe(ox)_3]^{3-}$	2×10^{20}	$[Zn(CN)_4]^{2-}$	1×10^{18}
$[Co(ox)_3]^{4-}$	5×10^{9}	$[Fe(SCN)]^{2+}$	$8{,}9 \times 10^{2}$	$[Zn(EDTA)]^{2-}$	3×10^{16}
$[Co(SCN)_4]^{2-}$	$1{,}0 \times 10^{3}$	$[HgCl_4]^{2-}$	$1{,}2 \times 10^{15}$	$[Zn(en)_3]^{2+}$	$1{,}3 \times 10^{14}$
$[Co(EDTA)]^-$	10^{36}	$[Hg(CN)_4]^{2-}$	3×10^{41}	$[Zn(NH_3)_4]^{2+}$	$4{,}1 \times 10^{8}$
$[Co(en)_3]^{3+}$	$4{,}9 \times 10^{48}$	$[Hg(EDTA)]^{2-}$	$6{,}3 \times 10^{21}$	$[Zn(OH)_4]^{2-}$	$4{,}6 \times 10^{17}$
$[Co(NH_3)_6]^{3+}$	$4{,}5 \times 10^{33}$	$[Hg(en)_2]^{2+}$	2×10^{23}	$[Zn(ox)_3]^{4-}$	$1{,}4 \times 10^{8}$

[a] Veriler yaklaşık oda sıcaklığında, 18-25°C de alınmıştır.

[b] $MS(k) + H_2O \rightleftharpoons M^{2+}(suda) + HS^-(suda) + OH^-(suda)$ tipi dengeye ilişkindir.

[c] Bu çizelgede verilen ligantlardan: Cl^-, CN^-, I^-, NH_3, OH^-, SCN^-, $S_2O_3^{2-}$ tek dişli; etilendiamin (en) ve okzalat, $ox(C_2O_4^{2-})$ iki dişli; etilendiamintetraasetat iyonu, $EDTA^{4-}$ dört dişlidir.

[d] K_{ol} değerleri toplanan (kümülatif) oluşum sabitleridir (bakınız s. 1094).

ÇİZELGE D.4 Standart Elektrot (İndirgenme) Potansiyelleri 25°C

İndirgenme yarı-tepkimesi	$E°$, V
$F_2(g) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,F^-(suda)$	+2,866
$OF_2(g) + 2\,H^+(suda) + 4\,e^- \longrightarrow H_2O(s) + 2\,F^-(suda)$	+2,1
$O_3(g) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow O_2(g) + H_2O(s)$	+2,075
$S_2O_8^{2-}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,SO_4^{2-}(suda)$	+2,01
$Ag^{2+}(suda) + e^- \longrightarrow Ag^+(suda)$	+1,98
$H_2O_2(suda) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,H_2O(s)$	+1,763
$MnO_4^-(suda) + 4\,H^+(suda) + 3\,e^- \longrightarrow MnO_2(k) + 2\,H_2O(s)$	+1,70
$PbO_2(k) + SO_4^{2-}(suda) + 4\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow PbSO_4(k) + 2\,H_2O(s)$	+1,69
$Au^{3+}(suda) + 3\,e^- \longrightarrow Au(k)$	+1,52
$MnO_4^-(suda) + 8\,H^+(suda) + 5\,e^- \longrightarrow Mn^{2+}(suda) + 4\,H_2O(s)$	+1,51
$2\,BrO_3^-(suda) + 12\,H^+(suda) + 10\,e^- \longrightarrow Br_2(s) + 6\,H_2O(s)$	+1,478
$PbO_2(k) + 4\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Pb^{2+}(suda) + 2\,H_2O(s)$	+1,455
$ClO_3^-(suda) + 6\,H^+(suda) + 6\,e^- \longrightarrow Cl^-(suda) + 3\,H_2O(s)$	+1,450
$Au^{3+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Au^+(suda)$	+1,36
$Cl_2(g) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,Cl^-(suda)$	+1,358
$Cr_2O_7^{2-}(suda) + 14\,H^+(suda) + 6\,e^- \longrightarrow 2\,Cr^{3+}(suda) + 7\,H_2O(s)$	+1,33
$MnO_2(k) + 4\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Mn^{2+}(suda) + 2\,H_2O(s)$	+1,23
$O_2(g) + 4\,H^+(suda) + 4\,e^- \longrightarrow 2\,H_2O(s)$	+1,229

(devam ediyor)

İndirgenme Yarı Tepkimesi	$E°$, V
$2\,IO_3^-(suda) + 12\,H^+(suda) + 10\,e^- \longrightarrow I_2(k) + 6\,H_2O(s)$	+1,20
$ClO_4^-(suda) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow ClO_3^-(suda) + H_2O(s)$	+1,189
$ClO_3^-(suda) + 2\,H^+(suda) + e^- \longrightarrow ClO_2(g) + H_2O(s)$	+1,175
$NO_2(g) + H^+(suda) + e^- \longrightarrow HNO_2(suda)$	+1,07
$Br_2(s) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,Br^-(suda)$	+1,065
$NO_2(g) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow NO(g) + H_2O(s)$	+1,03
$[AuCl_4]^-(suda) + 3\,e^- \longrightarrow Au(k) + 4\,Cl^-(suda)$	+1,002
$VO_2^+(suda) + 2\,H^+(suda) + e^- \longrightarrow VO^{2+}(suda) + H_2O(s)$	+1,000
$NO_3^-(suda) + 4\,H^+(suda) + 3\,e^- \longrightarrow NO(g) + 2\,H_2O(s)$	+0,956
$Cu^{2+}(suda) + I^-(suda) + e^- \longrightarrow CuI(k)$	+0,86
$Hg^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Hg(s)$	+0,854
$Ag^+(suda) + e^- \longrightarrow Ag(k)$	+0,800
$Fe^{3+}(suda) + e^- \longrightarrow Fe^{2+}(suda)$	+0,771
$O_2(g) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow H_2O_2(suda)$	+0,695
$2\,HgCl_2(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Hg_2Cl_2(k) + 2\,Cl^-(suda)$	+0,63
$MnO_4^-(suda) + e^- \longrightarrow MnO_4^{2-}(suda)$	+0,56
$I_2(k) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,I^-(suda)$	+0,535
$Cu^+(suda) + e^- \longrightarrow Cu(k)$	+0,520
$H_2SO_3(suda) + 4\,H^+(suda) + 4\,e^- \longrightarrow S(k) + 3\,H_2O(s)$	+0,449
$C_2N_2(g) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,HCN(suda)$	+0,37
$[Fe(CN)_6]^{3-}(suda) + e^- \longrightarrow [Fe(CN)_6]^{4-}(suda)$	+0,361
$VO^{2+}(suda) + 2\,H^+(suda) + e^- \longrightarrow V^{3+}(suda) + H_2O(s)$	+0,337
$Cu^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Cu(k)$	+0,340
$PbO_2(k) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow PbO(k) + H_2O(s)$	+0,28
$Hg_2Cl_2(k) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,Hg(s) + 2\,Cl^-(suda)$	+0,2676
$HAsO_2(suda) + 3\,H^+(suda) + 3\,e^- \longrightarrow As(k) + 2\,H_2O(s)$	+0,240
$AgCl(k) + e^- \longrightarrow Ag(k) + Cl^-(suda)$	+0,2223
$SO_4^{2-}(suda) + 4\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,H_2O(s) + SO_2(g)$	+0,17
$Cu^{2+}(suda) + e^- \longrightarrow Cu^+(suda)$	+0,159
$Sn^{4+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Sn^{2+}(suda)$	+0,154
$S(k) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow H_2S(g)$	+0,144
$AgBr(k) + e^- \longrightarrow Ag(k) + Br^-(suda)$	+0,071
$2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow H_2(g)$	0
$Pb^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Pb(k)$	−0,125
$Sn^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Sn(k)$	−0,137
$AgI(k) + e^- \longrightarrow Ag(k) + I^-(suda)$	−0,152
$V^{3+}(suda) + e^- \longrightarrow V^{2+}(suda)$	−0,255
$Ni^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Ni(k)$	−0,257
$H_3PO_4(suda) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow H_3PO_3(suda) + H_2O(s)$	−0,276
$Co^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Co(k)$	−0,277
$In^{3+}(suda) + 3\,e^- \longrightarrow In(k)$	−0,338
$PbSO_4(k) + 2\,e^- \longrightarrow Pb(k) + SO_4^{2-}(suda)$	−0,356
$Cd^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Cd(k)$	−0,403
$Cr^{3+}(suda) + e^- \longrightarrow Cr^{2+}(suda)$	−0,424
$Fe^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Fe(k)$	−0,440
$2\,CO_2(g) + 2\,H^+(suda) + 2\,e^- \longrightarrow H_2C_2O_4(suda)$	−0,49
$Zn^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Zn(k)$	−0,763

İndirgenme Yarı Tepkimesi	$E°$, V
$Cr^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Cr(k)$	−0,90
$Mn^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Mn(k)$	−1,18
$Ti^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Ti(k)$	−1,63
$U^{3+}(suda) + 3\,e^- \longrightarrow U(k)$	−1,66
$Al^{3+}(suda) + 3\,e^- \longrightarrow Al(k)$	−1,676
$Mg^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Mg(k)$	−2,356
$La^{3+}(suda) + 3\,e^- \longrightarrow La(k)$	−2,38
$Na^{+}(suda) + e^- \longrightarrow Na(k)$	−2,713
$Ca^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Ca(k)$	−2,84
$Sr^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Sr(k)$	−2,89
$Ba^{2+}(suda) + 2\,e^- \longrightarrow Ba(k)$	−2,92
$Cs^{+}(suda) + e^- \longrightarrow Cs(k)$	−2,923
$K^{+}(suda) + e^- \longrightarrow K(k)$	−2,924
$Rb^{+}(suda) + e^- \longrightarrow Rb(k)$	−2,924
$Li^{+}(suda) + e^- \longrightarrow Li(k)$	−3,040
Bazik Çözeltiler	
$O_3(g) + H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow O_2(g) + 2\,OH^-(suda)$	+1,246
$ClO^-(suda) + H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow Cl^-(suda) + 2\,OH^-(suda)$	+0,890
$H_2O_2(suda) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,OH^-(suda)$	+0,88
$BrO^-(suda) + H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow Br^-(suda) + 2\,OH^-(suda)$	+0,766
$ClO_3^-(suda) + 3\,H_2O(s) + 6\,e^- \longrightarrow Cl^-(suda) + 6\,OH^-(suda)$	+0,622
$2\,AgO(k) + H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow Ag_2O(k) + 2\,OH^-(suda)$	+0,604
$MnO_4^-(suda) + 2\,H_2O(s) + 3\,e^- \longrightarrow MnO_2(k) + 4\,OH^-(suda)$	+0,60
$BrO_3^-(suda) + 3\,H_2O(s) + 6\,e^- \longrightarrow Br^-(suda) + 6\,OH^-(suda)$	+0,584
$2\,BrO^-(suda) + 2\,H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow Br_2(s) + 4\,OH^-(suda)$	+0,455
$2\,IO^-(suda) + 2\,H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow I_2(k) + 4\,OH^-(suda)$	+0,42
$O_2(g) + 2\,H_2O(s) + 4\,e^- \longrightarrow 4\,OH^-(suda)$	+0,401
$Ag_2O(k) + H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow 2\,Ag(k) + 2\,OH^-(suda)$	+0,342
$Co(OH)_3(k) + e^- \longrightarrow Co(OH)_2(k) + OH^-(suda)$	+0,17
$2\,MnO_2(k) + H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow Mn_2O_3(k) + 2\,OH^-(suda)$	+0,118
$NO_3^-(suda) + H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow NO_2^-(suda) + 2\,OH^-(suda)$	+0,01
$CrO_4^{2-}(suda) + 4\,H_2O(s) + 3\,e^- \longrightarrow Cr(OH)_3(k) + 5\,OH^-(suda)$	−0,11
$S(k) + 2\,e^- \longrightarrow S^{2-}(suda)$	−0,48
$HPbO_2^-(suda) + H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow Pb(k) + 3\,OH^-(suda)$	−0,54
$HCHO(suda) + 2\,H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow CH_3OH(suda) + 2\,OH^-(suda)$	−0,59
$SO_3^{2-}(suda) + 3\,H_2O(s) + 4\,e^- \longrightarrow S(k) + 6\,OH^-(suda)$	−0,66
$AsO_4^{3-}(suda) + 2\,H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow AsO_2^-(suda) + 4\,OH^-(suda)$	−0,67
$AsO_2^-(suda) + 2\,H_2O(s) + 3\,e^- \longrightarrow As(k) + 4\,OH^-(suda)$	−0,68
$Cd(OH)_2(k) + 2\,e^- \longrightarrow Cd(k) + 2\,OH^-(suda)$	−0,824
$2\,H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(suda)$	−0,828
$OCN^-(suda) + H_2O(s) + 2\,e^- \longrightarrow CN^-(suda) + 2\,OH^-(suda)$	−0,97
$As(k) + 3\,H_2O(s) + 3\,e^- \longrightarrow AsH_3(g) + 3\,OH^-(suda)$	−1,21
$Zn(OH)_2(k) + 2\,e^- \longrightarrow Zn(k) + 2\,OH^-(suda)$	−1,246
$Sb(k) + 3\,H_2O(s) + 3\,e^- \longrightarrow SbH_3(g) + 3\,OH^-(suda)$	−1,338
$Al(OH)_4^-(suda) + 3\,e^- \longrightarrow Al(k) + 4\,OH^-(suda)$	−2,310
$Mg(OH)_2(k) + 2\,e^- \longrightarrow Mg(k) + 2\,OH^-(suda)$	−2,687

ÇİZELGE D.5 İzotopların Kütleleri ve Bollukları*

Z	İsim	Simge	Atom kütlesi, u	% Bolluk
1	Hidrojen	^{1}H	1,007825	99,9885
	Döteryum	^{2}H	2,014102	0,0115
	Trityum	^{3}H	3,016049	—
2	Helyum	^{3}He	3,016029	0,000137
		^{4}He	4,002603	99,999863
3	Lityum	^{6}Li	6,015122	7,59
		^{7}Li	7,016004	92,41
4	Berilyum	^{9}Be	9,012182	100
5	Bor	^{10}B	10,012937	19,9
		^{11}B	11,009305	80,1
6	Karbon	^{12}C	12,000000	98,93
		^{13}C	13,003355	1,07
		^{14}C	14,003242	—
7	Azot	^{14}N	14,003074	99,632
		^{15}N	15,000109	0,368
8	Oksijen	^{16}O	15,994915	99,757
		^{17}O	16,999132	0,038
		^{18}O	17,999160	0,205
9	Flor	^{19}F	18,998403	100
10	Neon	^{20}Ne	19,992440	90,48
		^{21}Ne	20,993847	0,27
		^{22}Ne	21,991386	9,25
11	Sodyum	^{23}Na	22,989770	100
12	Magnezyum	^{24}Mg	23,985042	78,99
		^{25}Mg	24,985837	10,00
		^{26}Mg	25,982593	11,01
13	Aluminyum	^{27}Al	26,981538	100
14	Silisyum	^{28}Si	27,976927	92,2297
		^{29}Si	28,976495	4,6832
		^{30}Si	29,973770	3,0872
15	Fosfor	^{31}P	30,973762	100
16	Kükürt	^{32}S	31,972071	94,93
		^{33}S	32,971458	0,76
		^{34}S	33,967867	4,29
		^{36}S	35,967081	0,02
17	Klor	^{35}Cl	34,968853	75,78
		^{37}Cl	36,965903	24,22
18	Argon	^{36}Ar	35,967546	0,3365
		^{38}Ar	37,962732	0,0632
		^{40}Ar	39,962383	99,6003
19	Potasyum	^{39}K	38,963707	93,2581
		^{40}K	39,963999	0,0117
		^{41}K	40,961826	6,7302
20	Kalsiyum	^{40}Ca	39,962591	96,941
		^{42}Ca	41,958618	0,647
		^{43}Ca	42,958767	0,135
		^{44}Ca	43,955481	2,086
		^{46}Ca	45,953693	0,004
		^{48}Ca	47,952534	0,187

*İzotopik kütle değerleri şu kaynaklardan elde edilmiştir: G.Audi ve A.H.Wapstra, ve M. Dedieu, *Nuclear Physics A,* volume 565, sayfa 1-65 (1993) ve G.Audi ve A.H.Wapstra, ve M. Dedieu, *Nuclear Physics A,*volume 595, sayfa 409-480 (1995). Yüzde doğal bolluk değerleri şu kaynaktan elde edilmiştir: K.J.R. Rosman ve P.D.P. Taylor, *Pure and Applied Chemistry,* volume 70, sayfa 217-235 (1998).

Z	İsim	Simge	Atom kütlesi, u	% Bolluk
21	Skandiyum	^{45}Sc	44,955910	100
22	Titanyum	^{46}Ti	45,952629	8,25
		^{47}Ti	46,951764	7,44
		^{48}Ti	47,947947	73,72
		^{49}Ti	48,947871	5,41
		^{50}Ti	49,944792	5,18
23	Vanadyum	^{50}V	49,947163	0,250
		^{51}V	50,943964	99,750
24	Krom	^{50}Cr	49,946050	4,345
		^{52}Cr	51,940512	83,789
		^{53}Cr	52,940654	9,501
		^{54}Cr	53,938885	2,365
25	Mangan	^{55}Mn	54,938050	100
26	Demir	^{54}Fe	53,939615	5,845
		^{56}Fe	55,934942	91,754
		^{57}Fe	56,935399	2,119
		^{58}Fe	57,933280	0,282
27	Kobalt	^{59}Co	58,933200	100
28	Nikel	^{58}Ni	57,935348	68,0769
		^{60}Ni	59,930791	26,2231
		^{61}Ni	60,931060	1,1399
		^{62}Ni	61,928349	3,6345
		^{64}Ni	63,927970	0,9256
29	Bakır	^{63}Cu	62,929601	69,17
		^{65}Cu	64,927794	30,83
30	Çinko	^{64}Zn	63,929147	48,63
		^{66}Zn	65,926037	27,90
		^{67}Zn	66,927131	4,10
		^{68}Zn	67,924848	18,75
		^{70}Zn	69,925325	0,62
31	Galyum	^{69}Ga	68,925581	60,108
		^{71}Ga	70,924705	39,892
32	Germanyum	^{70}Ge	69,924250	20,84
		^{72}Ge	71,922076	27,54
		^{73}Ge	72,923459	7,73
		^{74}Ge	73,921178	36,28
		^{76}Ge	75,921403	7,61
33	Arsenik	^{75}As	74,921596	100
34	Selen	^{74}Se	73,922477	0,89
		^{76}Se	75,919214	9,37
		^{77}Se	76,919915	7,63
		^{78}Se	77,917310	23,77
		^{80}Se	79,916522	49,61
		^{82}Se	81,916700	8,73
35	Brom	^{79}Br	78,918338	50,69
		^{81}Br	80,916291	49,31
36	Kripton	^{78}Kr	77,920386	0,35
		^{80}Kr	79,916378	2,28
		^{82}Kr	81,913485	11,58
		^{83}Kr	82,914136	11,49
		^{84}Kr	83,911507	57,00
		^{86}Kr	85,910610	17,30

(devam ediyor)

Z	İsim	Simge	Atom kütlesi, u	% Bolluk
37	Rubidyum	^{85}Rb	84,911789	72,17
		^{87}Rb	86,909183	27,83
38	Stronsiyum	^{84}Sr	83,913425	0,56
		^{86}Sr	85,909262	9,86
		^{87}Sr	86,908879	7,00
		^{88}Sr	87,905614	82,58
39	İtriyum	^{89}Y	88,905848	100
40	Zirkonyum	^{90}Zr	89,904704	51,45
		^{91}Zr	90,905645	11,22
		^{92}Zr	91,905040	17,15
		^{94}Zr	93,906316	17,38
		^{96}Zr	95,908276	2,80
41	Niyobium	^{93}Nb	92,906378	100
42	Molibden	^{92}Mo	91,906810	14,84
		^{94}Mo	93,905088	9,25
		^{95}Mo	94,905841	15,92
		^{96}Mo	95,904679	16,68
		^{97}Mo	96,906021	9,55
		^{98}Mo	97,905408	24,13
		^{100}Mo	99,907477	9,63
43	Teknetyum	^{98}Tc	97,907216	—
44	Rutenyum	^{96}Ru	95,907598	5,54
		^{98}Ru	97,905287	1,87
		^{99}Ru	98,905939	12,76
		^{100}Ru	99,904220	12,60
		^{101}Ru	100,905582	17,06
		^{102}Ru	101,904350	31,55
		^{104}Ru	103,905430	18,62
45	Rodyum	^{103}Rh	102,905504	100
46	Palladyum	^{102}Pd	101,905608	1,02
		^{104}Pd	103,904035	11,14
		^{105}Pd	104,905084	22,33
		^{106}Pd	105,903483	27,33
		^{108}Pd	107,903894	26,46
		^{110}Pd	109,905152	11,72
47	Gümüş	^{107}Ag	106,905093	51,839
		^{109}Ag	108,904756	48,161
48	Kadmiyum	^{106}Cd	105,906458	1,25
		^{108}Cd	107,904183	0,89
		^{110}Cd	109,903006	12,49
		^{111}Cd	110,904182	12,80
		^{112}Cd	111,902757	24,13
		^{113}Cd	112,904401	12,22
		^{114}Cd	113,903358	28,73
		^{116}Cd	115,904755	7,49
49	İndiyum	^{113}In	112,904061	4,29
		^{115}In	114,903878	95,71
50	Kalay	^{112}Sn	111,904821	0,97
		^{114}Sn	113,902782	0,66
		^{115}Sn	114,903346	0,34

(devam ediyor)

Z	İsim	Simge	Atom Kütlesi, u	% Bolluk
50	Kalay	^{116}Sn	115,901744	14,54
		^{117}Sn	116,902954	7,68
		^{118}Sn	117,901606	24,22
		^{119}Sn	118,903309	8,59
		^{120}Sn	119,902197	32,58
		^{122}Sn	121,903440	4,63
		^{124}Sn	123,905275	5,79
51	Antimon	^{121}Sb	120,903818	57,21
		^{123}Sb	122,904216	42,79
52	Tellür	^{120}Te	119,904020	0,09
		^{122}Te	121,903047	2,55
		^{123}Te	122,904273	0,89
		^{124}Te	123,902819	4,74
		^{125}Te	124,904425	7,07
		^{126}Te	125,903306	18,84
		^{128}Te	127,904461	31,74
		^{130}Te	129,906223	34,08
53	İyot	^{127}I	126,904468	100
54	Ksenon	^{124}Xe	123,905896	0,09
		^{126}Xe	125,904269	0,09
		^{128}Xe	127,903530	1,92
		^{129}Xe	128,904779	26,44
		^{130}Xe	129,903508	4,08
		^{131}Xe	130,905082	21,18
		^{132}Xe	131,904154	26,89
		^{134}Xe	133,905395	10,44
		^{136}Xe	135,907220	8,87
55	Sezyum	^{133}Cs	132,905447	100
56	Baryum	^{130}Ba	129,906310	0,106
		^{132}Ba	131,905056	0,101
		^{134}Ba	133,904503	2,417
		^{135}Ba	134,905683	6,592
		^{136}Ba	135,904570	7,854
		^{137}Ba	136,905821	11,232
		^{138}Ba	137,905241	71,698
57	Lantan	^{138}La	137,907107	0,090
		^{139}La	138,906348	99,910
58	Seryum	^{136}Ce	135,907144	0,185
		^{138}Ce	137,905986	0,251
		^{140}Ce	139,905434	88,450
		^{142}Ce	141,909240	11,114
59	Praseodinyum	^{141}Pr	140,907648	100
60	Neodimyum	^{142}Nd	141,907719	27,2
		^{143}Nd	142,909810	12,2
		^{144}Nd	143,910083	23,8
		^{145}Nd	144,912569	8,3
		^{146}Nd	145,913112	17,2
		^{148}Nd	147,916889	5,7
		^{150}Nd	149,920887	5,6
61	Prometiyum	^{145}Pm	144,912744	—

(devam ediyor)

Z	İsim	Simge	Atomun Kütlesi, u	% Bolluk
62	Samaryum	^{144}Sm	143 911995	3,07
		^{147}Sm	146,914893	14,99
		^{148}Sm	147,914818	11,24
		^{149}Sm	148,917180	13,82
		^{150}Sm	149,917271	7,38
		^{152}Sm	151,919728	26,75
		^{154}Sm	153,922205	22,75
63	Öropyum	^{151}Eu	150,919846	47,81
		^{153}Eu	152,921226	52,19
64	Gadolinyum	^{152}Gd	151,919788	0,20
		^{154}Gd	153,920862	2,18
		^{155}Gd	154,922619	14,80
		^{156}Gd	155,922120	20,47
		^{157}Gd	156,923957	15,65
		^{158}Gd	157,924101	24,84
		^{160}Gd	159,927051	21,86
65	Terbiyum	^{159}Tb	158,925343	100
66	Disprosyum	^{156}Dy	155,924278	0,06
		^{158}Dy	157,924405	0,10
		^{160}Dy	159,925194	2,34
		^{161}Dy	160,926930	18,91
		^{162}Dy	161,926795	25,51
		^{163}Dy	162,928728	24,90
		^{164}Dy	163,929171	28,18
67	Holmiyum	^{165}Ho	164,930319	100
68	Erbiyum	^{162}Er	161,928775	0,14
		^{164}Er	163,929197	1,61
		^{166}Er	165,930290	33,61
		^{167}Er	166,932045	22,93
		^{168}Er	167,932368	26,78
		^{170}Er	169,935460	14,93
69	Tulyum	^{169}Tm	168,934211	100
70	İterbiyum	^{168}Yb	167,933894	0,13
		^{170}Yb	169,934759	3,04
		^{171}Yb	170,936322	14,28
		^{172}Yb	171,936378	21,83
		^{173}Yb	172,938207	16,13
		^{174}Yb	173,938858	31,83
		^{176}Yb	175,942568	12,76
71	Lütesyum	^{175}Lu	174,940768	97,41
		^{176}Lu	175,942682	2,59
72	Hafniyum	^{174}Hf	173,940040	0,16
		^{176}Hf	175,941402	5,26
		^{177}Hf	176,943220	18,60
		^{178}Hf	177,943698	27,28
		^{179}Hf	178,945815	13,62
		^{180}Hf	179,946549	35,08
73	Tantal	^{180}Ta	179,947466	0,012
		^{181}Ta	180,947996	99,988

Z	İsim	Simge	Atomun kütlesi, u	% Bolluk
74	Tungsten	^{180}W	179,946706	0,12
		^{182}W	181,948206	26,50
		^{183}W	182,950224	14,31
		^{184}W	183,950933	30,64
		^{186}W	185,954362	28,43
75	Renyum	^{185}Re	184,952956	37,40
		^{187}Re	186,955751	62,60
76	Osmiyum	^{184}Os	183,952491	0,02
		^{186}Os	185,953838	1,59
		^{187}Os	186,955748	1,96
		^{188}Os	187,955836	13,24
		^{189}Os	188,958145	16,15
		^{190}Os	189,958445	26,26
		^{192}Os	191,961479	40,78
77	İridyum	^{191}Ir	190,960591	37,3
		^{193}Ir	192,962924	62,7
78	Platin	^{190}Pt	189,959930	0,014
		^{192}Pt	191,961035	0,782
		^{194}Pt	193,962664	32,967
		^{195}Pt	194,964774	33,832
		^{196}Pt	195,964935	25,242
		^{198}Pt	197,967876	7,163
79	Altın	^{197}Au	196,966552	100
80	Civa	^{196}Hg	195,965815	0,15
		^{198}Hg	197,966752	9,97
		^{199}Hg	198,968262	16,87
		^{200}Hg	199,968309	23,10
		^{201}Hg	200,970285	13,18
		^{202}Hg	201,970626	29,86
		^{204}Hg	203,973476	6,87
81	Talyum	^{203}Tl	202,972329	29,524
		^{205}Tl	204,974412	70,476
82	Kurşun	^{204}Pb	203,973029	1,4
		^{206}Pb	205,974449	24,1
		^{207}Pb	206,975881	22,1
		^{208}Pb	207,976636	52,4
83	Bizmut	^{209}Bi	208,980383	100
84	Polonyum	^{209}Po	208,982416	—
85	Astatin	^{210}At	209,987131	—
86	Radon	^{222}Rn	222,017570	—
87	Fransiyum	^{223}Fr	223,019731	—
88	Radyum	^{226}Ra	226,025403	—
89	Aktinyum	^{227}Ac	227,027747	—
90	Toryum	^{232}Th	232,038050	100
91	Protaktinyum	^{231}Pa	231,035879	100
92	Uranyum	^{234}U	234,040946	0,0055
		^{235}U	235,043923	0,7200
		^{238}U	238,050783	99,2745
93	Neptünyum	^{237}Np	237,048167	—
94	Plutonyum	^{244}Pu	244,064198	—
95	Amerikiyum	^{243}Am	243,061373	—

(devam ediyor)

Z	İsim	Simge	Atomun kütlesi, u	% Bolluk
96	Küriyum	^{247}Cm	247,070347	—
97	Berkelyum	^{247}Bk	247,070299	—
98	Kaliforniyum	^{251}Cf	251,079580	—
99	Einsteinyum	^{252}Es	252,082972	—
100	Fermiyum	^{257}Fm	257,095099	—
101	Mendelevyum	^{258}Md	258,098425	—
102	Nobelyum	^{259}No	259,101024	—
103	Lavrensiyum	^{262}Lr	262,109692	—
104	Rutherfordiyum	^{263}Rf	263,118313	—
105	Dubniyum	^{262}Db	262,011437	—
106	Seaborgiyum	^{266}Sg	266,012238	—
107	Bohriyum	^{264}Bh	264,012496	—
108	Hassiyum	^{269}Hs	269,001341	—
109	Meitneryum	^{268}Mt	268,001388	—
110	Ununnilyum	^{272}Uun	272,001463	—
111	Unununiyum	^{272}Uuu	272,001535	—
112	Ununbiyum	^{277}Uub	(277)	—
114	Ununkuadyum	^{289}Uuq	(289)	—
116	Ununheksiyum	^{289}Uuh	(289)	—
118	Ununoktiyum	^{293}Uuo	(293)	—

E

Ek

Kavram Haritaları

Bu kitabı okuyup sınıfta derslere katılarak kimya çalıştığınızda bir çok fikir ve kavramla karşılaşırsınız. Bu fikirleri ve kavramları birbirine bağlamak oldukça zor olabilir. Bu görevi gerçekleştirmenin en etkili yolu "kavram haritası" ile olur. Bu kavram haritası, birbiriyle ilgili bir dizi kavram ve fikirler arasındaki ilişkileri gösteren bir görsel haritadır. Bu harita zihnin belirli konuları nasıl algıladığını göstermek için somut bir yoldur. Bir kavram haritası oluşturarak neyi anlayıp neyi anlamadığınızı ifade edebilirsiniz. Bir kavram haritasında her kavram, bir kutu içindeki bir veya iki kelimeyle temsil edilmekte ve diğer kavram kutularına çizgi veya oklarla bağlanmaktadır. Çizgi veya ok, bitişik bir kelime ya da kısa ifade kavramları arasındaki ilişkiyi tanımlar. Her bir genel kavram kutusundan diğer bir çok kavram kutusuna ve bir çok kavram kutusundan her bir genel kavram kutusuna çizgiler vardır, böylece bir ağ veya "harita" oluşur.

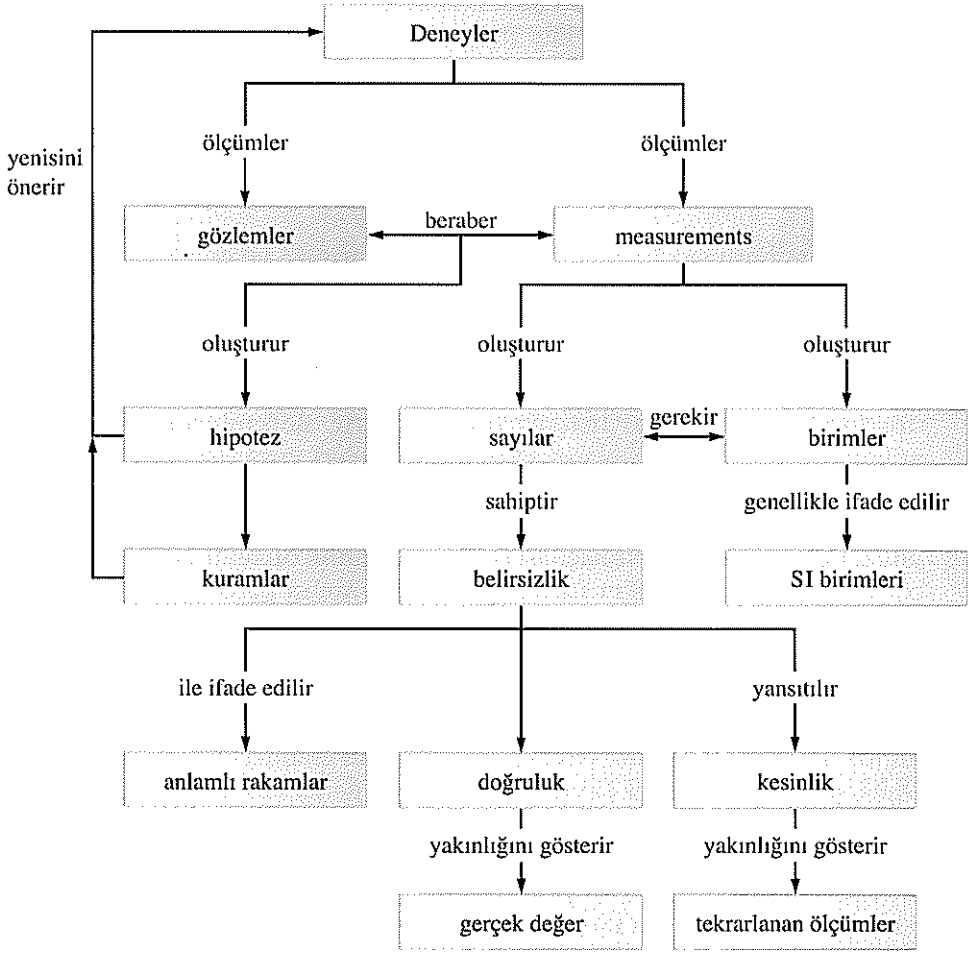
E-1 Bir Kavram Haritası Nasıl Hazırlanır

1. Bir kavram haritası oluşturmak için okuduklarınıza ve derste öğrendiklerinize dayanan bir konu başlığıyla ilgili olayların, terimlerin ve fikirlerin bir listesini hazırlayınız. Kendinize sınıf veya okuma ödevlerinin ne hakkında olduğunu sorarak başlayınız. Bu sorunun cevabı ilk önce (en genel) kavramları verecektir. Bu soru hakkında daha çok düşündükçe kavramlar listeniz büyüyecektir. Bölümlerin önemli noktalarını ve bunun yanısıra anahtar kelimeleri vurgulayan bölüm özetlerini inceleyebilirsiniz.
2. En genel ve en özelden başlayarak kavramları kendi listenizde inceleyiniz. Bu kavramların bir kaçının benzer yaygınlık düzeyinde olabileceğini unutmayınız. Diğer türlü, ilgili iki kavramın göreceli önemini belirlemek zor olabilir; bu ikilemin üstesinden gelmek için aşağıdaki soruyu sormayı deneyiniz: Hangi kavramlar diğerine başvurmadan anlaşılabilir? Cevap büyük ihtimalle daha genel bir kavramdır .
3. Kategorilere karar verdikten sonra en genel kavramı sayfanın üst kısmında merkeze koyunuz ve çevresine bir kutu çiziniz.
4. Daha sonra gelen genel kavram dizisini, en genel kavramın altında olacak şekilde düzenleyiniz. Bu kavramların çevresine kutular çiziniz ve en genel kavrama oklarla bağlayınız. Çizgilerin ok başı okunması gereken yöne yönlenmiş olmalıdır.
5. Sonraki adım bağlantılı kavramların doğru ilişkilendirildiği kısa ifadelerle veya tek bir kelimeyle nitelendirilmesidir. Eğer kavram 1 bağlantı ifadesi kavram 2 sırasına bağlarsanız, mantıklı bir ifade ortaya çıkmalıdır. Örneğin, ölçümler (kavram 1) kesinliği belli olmayan (bağlam ifadesi) sayıları (kavram 2) üretir. Bağlantı etiketlerinin hesaba katılması önemlidir. Uygun bağlantı ifadeleri, kavramlar arasindaki ilişkiyi anlamamızı sağlar .

6. Özel kavramları satırlara ekleyerek sayfanın aşağısına doğru ilerleyiniz. En özel kavramlar haritanızın altında olmalıdır.
7. Harita boyunca ilerlerken, aynı hat üzerinde görünen yakından ilgili kavramlar arasındaki çapraz bağlantıları araştırınız. Çift uçlu oklarla kesik çizgiler kullanarak çapraz hatları bağlayınız.
8. Son adım olarak harita değerlendirilir ve eğer daha mantıklı ve düzgün bir harita üretmek gerekli görülürse yeniden çizilir.

Haritayı oluşturduktan sonra bir kavramın sadece bir kez yazıldığını ve bütün bağlantıları işaretlediğinizi kontrol ediniz. Son olarak unutmayınız ki kavram haritası için bir tek *doğru* harita yoktur. Ancak bazı kavram haritaları, kavramların verilen bir seti arasındaki ilişkileri gösteren diğer haritalardan daha etkilidir.

Ekteki diyagram bilimsel yöntem ve ölçümlerin bir kavram haritasını gösterir. SI birimlerinin temel birimler ve türetilmiş birimlere bağlanabileceğine dikkat ediniz.



Ek

Sözlük

α-Amino asit: karboksil grubuna (–COOH) komşu olan karbona bir amin (NH_2) grubu bağlanan bir karboksilli asit.

Açık sistem: çevresi ile hem madde, hem de enerji alışverişi yapabilen sistem.

Açısal dalga fonksiyonu, $\gamma(\theta,\phi)$: Schrödinger dalga denklemi küresel polar koordinatlarda ifade edildiğinde θ ve ϕ açılarına bağlı olan dalga fonksiyonunun bir kısmı (Ayrıca bakınız **radyal dalga fonksiyonu.**)

Açil grubu: $-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R$. Eğer R=H ise **formil** grubu; R = CH_3 ise **asetil** ve R = C_6H_5 ise **benzoil.**

Adenozin difosfat (ADP) ve adenozin trifosfat (ATP): metabolizmada enerji aktarımını sağlayan bileşikler. ATP nin hidrolizi ADP $[HPO_4]^{2-}$ iyonu ve enerji verir.

Adezyon kuvvetleri: farklı moleküller arasındaki kuvvetlerdir. Bir sıvının molekülleri ile içinde bulunduğu kabın yüzeyi arasındaki kuvvetler gibi.

Ağ örgülü kovalent katı: kovalent bağların kristal boyunca yayıldığı madde. Kovalent bağ hem molekü*liçi* hem de molekülleraras*ı* kuvvet oluşturur.

Akış pili: malzemelerin (tepkenler, ürünler, elektrolitler) içinden sürekli geçtiği pil. Basitçe kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren pildir.

Akiral: ayna görüntüsü ile üst üste çakışabilen yapıya sahip molekül. (ayrıca bakınız **kiral.**)

Aktif merkez: heterojen bir katalizör ya da enzim yüzeyinde, katalizin meydana geldiği bölge.

Aktifleşmiş kompleks: enerjili moleküllerin çarpışmasıyla meydana gelen ve çıkış maddeleri ile ürün arasında bir geçiş durumunu oluşturan tanecikler. Oluşan aktifleşmiş kompleksler ya ürüne ya da geri çıkış maddesine ayrışır.

Aktinitler: atomlarında kısmen dolmuş 5f orbitalleri içeren elementler (Z = 90 – 103). Bütün aktinitler radyoaktiftir.

Aktivasyon (eşik) enerjisi: bir kimyasal tepkimede, moleküllerin çarpışarak biraraya gelebilmesi için gerekli minimum kinetik enerji.

Alaşım: iki ya da daha fazla metalin bir karışımı. Bazı alaşımlar katı çözelti, bazıları heterojen karışımlar ve bazıları da metallerarası bileşiklerdir.

Alçak-spin kompleksi: kuvvetli kristal alan yarılmasıyla merkez metal atomu veya iyonunun *d* altkabuğunda minimum eşleşmemiş elektron sayısının olduğu kompleks.

Alçı: $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$, kalsiyum sülfat yarıhidratıdır, alçı taşının, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ısıtılmasıyla elde edilir, İnşaat endüstrisinde çok kullanılan bir malzemedir.

Aldehitler: genel formülleri $R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$ olan bileşikler.

Alfa (α) parçacığı: iki proton ve iki nötronun birleşmesiyle oluşan ve helyum iyonu ($^4He^{2+}$) ile aynı olan tanecik. Alfa parçacıkları bazı radyoaktif bozunma süreçlerinde yayınlanırlar.

Alifatik: karbon atomları düz veya dallanmış zincir şeklinde olan hidrokarbon bileşikleri.

Alisiklik: hidrokarbon moleküllerinde karbon iskeletleri halkalı olarak düzenlenmiştir (aromatik değil) ve alifatik hidrokarbonlara benzer.

Alkali metaller: periyotik çizelgede grup 1 elementlerine verilen ad.

Alkan: karbon atomları arasında tek bir kovalent bağ bulunan hidrokarbonlar. Açık zincirlerinin genel formülü C_nH_{2n+2} dir.

Alken: molekülünde bir ya da daha çok karbon-karbon çift bağı taşıyan hidrokarbonlar. Basit alkenlerin genel formülü C_nH_{2n} dir.

Alkil grubu: bir alkandan bir hidrojen çıkarılmasıyla oluşan grup. Örneğin CH_3- metil, CH_3CH_2- etil grubudur.

Alkin: moleküllerinde bir ya da daha fazla karbon-karbon üçlü bağı içeren hidrokarbonlar. Basit alkinlerin genel formülü C_nH_{2n-2} dir.

Alkoller: OH grubu taşıyan, ROH genel formülünde bileşikler.

Altkabuk: aynı tip orbitallerin tabakasıdır. Örneğin üç *2p* orbitali *2p* altkabuğunu oluşturur.

Amalgam: civa içeren alaşım. Bileşimine bağlı olarak, bazıları sıvı, bazıları katıdır.

Ametal: atomları elektron alarak negatif iyonlar (anyonlar) oluşturan elementler. Ametal atomları, elektron ortaklaşması ile elektron dağılımlarını değiştirebilirler. Bunlar çoğunlukla gaz, sıvı (brom) ve düşük erime noktalı katılardır. Isıyı ve elektriği iletmezler.

Amfiprotik: hem asit hem de baz olarak davranan maddeler.

Amfoterik: bazı oksit ve hidroksi bileşiklerinin hem asit, hem de baz gibi davaranabilme özelliğini ifade eden bir terim.

Amin: RNH_2 (birincil), R_2NH (ikincil) ya da R_3N (üçüncül) amin formülünde olan organik baz.

Amit: karboksilli asitin amonyum tuzundan türemiştir ve genel formülü $R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH_2$ dir.

Ana kuant tabakası: aynı başkuant sayısına (n) sahip orbitallerin tümü. Ör. 3*s*, 3*p*, 3*d* orbitalleri aynı ana kuant tabakasındadır (n = 3).

Anhidrit: terimin anlamı "susuz"dur. Asit anhidriti su ile tepkimeye girdiğinde asit, baz anhidriti ise baz oluşturur.

Anlamlı sayılar: deneysel olarak ölçülen bir değerin hassasiyetini belirten rakamlardır.

Anlık tepkime hızı: tepkimenin belli bir anındaki gerçek tepkime hızıdır. Derişim-zaman grafiğinin eğiminden elde edilir.

Anot: elektrokimyasal hücrede, yükseltgenme yarı tepkimesinin gerçekleştiği elektrot.

Anti konformasyon: metil gruplarının çapraz karşılıklı yönlerde olduğu konformasyon.

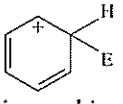
Anyon: negatif yüklü iyon. Elektrokimyasal hücrede anyon anoda doğru göçer.

Aprotik çözücü: molekülleri elektronegatif bir elemente bağlı hidrojen atomu içermeyen çözücü.

Araürün: çok basamaklı bir tepkimede basamaklardan birinde oluşan ve sonraki basamağın çıkış maddesi olan ürün.

Ardışık tepkimeler: ardarda oluşan iki ya da daha fazla tepkime. Bir tepkimenin ürünü diğer tepkimenin çıkış maddesi olur. Bu durum son ürüne kadar devam eder.

Arenyum iyonu: yapı formülü aşağıda verilen katyonik türlerdir.



Bir arenyum iyonu, bir elektrofil (E^+) benzen halkasının π sisteminden bir elektron çifti kabul ettiğinde oluşur.

Arıtma: metalden safsızlıkları uzaklaştırma.

Aromatik hidrokarbonlar: karbon atomu iskeleti benzendeki, C_6H_6, gibi altıgen halka şeklinde düzenlenmiş organik bileşikler.

Ard arda tepkimeler: iki ya da daha çok tepkimenin birbiri ardından oluşması. Bir önceki tepkimenin ürünü, bir sonrakinin çıkış maddesidir, ta ki tepkime sona erinceye kadar.

Asimetrik: dört farklı substituent grubun bağlı olduğu C atomunu ifade eder ve bu C atomunu içeren molekül kiraldir.

Asit iyonlaşma sabiti, K_a: zayıf bir asitin iyonlaşma denge sabiti.

Asit tuz: anyonu asit gibi davranan (proton veren) tuz. Örneğin, Na_2HSO_4 ve NaH_2PO_4.

Asit-Baz İndikatörü: bir çözeltinin pH değerini ölçmede ya da bir asit-baz titrasyonunda eşdeğerlik noktasının belirlenmesinde kullanılan madde. İyonlaşmamış asit yapısı ayrı bir renkte ve iyonlaşmış anyon hali farklı bir renktedir.

Asit: (1) uygun koşullarda hidrojen iyonu, H^+, verebilen hidrojenli bileşikler (Arrhenius kuramı); (2) proton verici (Lowry-Bronsted kuramı); (3) kovalent bağ yapmak için elektron çifti alabilen atom, iyon ya da molekül (Lewis kuramı).

Aşırı doymuş çözelti: doymuş bir çözeltiden daha fazla çözünen içeren çözelti. Belli sıcaklıkta doymuş çözelti daha fazla ısıtılarak (içinde daha fazla madde çözünür) aşırı doymuş hale getirilir. Soğutulduğu halde, içinde aşı kristali olmamasından dolayı kristallenme olmayan doygun çözelti.

Aşırı gerilim: elektrolizde, belli bir elektrot tepkimesini verecek olan kuramsal değerden daha fazla olan gerilim.

Atmosfer (atm): yerçekimi ivmesinin g = 9,80665 m/s^2 olduğu bir yerde yoğunluğu 13,5951 g/cm^3 olan 760 mm cıva sütununun uyguladığı basınç bir atmosferdir.

Atom çizgi spektrumu: gaz halindeki uyarılmış atomların yaydığı ışının verdiği spektrum. Çizgi spektrumunda yalnızca tek dalga boylu ışın çizgileri (renkli olarak görülür) vardır.

Atom kütlesi (ağırlığı): bir elementin izotop kütlelerinin doğadaki bolluk oranına göre ortalaması. Atom kütlesi, karbon-12 nin kütlesi tam 12 alınarak bulunur.

Atom numarası (Z): bir atomun çekirdeğindeki proton sayısı. Aynı zamanda, nötral atomun çekirdek çevresindeki elektron sayısıdır.

Atom: maddenin temel taşı. Bilinen atom sayısı 114 dür. Bir element tek tip atom, bileşik birden fazla çeşit atom taşır.

Atomik kütle birimi (akb): tek bir atomun kütlesini belirtmekte kullanılır. 1 akb, karbon-12 kütlesinin 1/12 si dir.

ATP : (bakınız adenozin trifosfat.)

Aufbau yöntemi: elementlerin olası elektron dağılımlarını yazma yöntemi. Her bir element bir önceki elementten bir elektron fazla taşır.

Avogadro sayısı, N_A: $6{,}02214 \times 10^{23}$ sayısı. Bir mol taneciğin sayısı.

Avogadro yasası (hipotezi): bir gazın belli sıcaklık ve basınçtaki miktarı hacmi ile orantılıdır. Aynı sıcaklık ve basınçtaki gazların aynı hacimlerinde aynı sayıda molekül bulunur.

Ayrılan grup: bir nükleofilin saldırısıyla elektrofilik molekülden çıkarılan kısım.

Ayrılma tepkimesi: bir hidrokarbon zincirinin komşu iki konumundan, basit bir molekül (örneğin H_2O) oluşturmak üzere atomların ayrılarak bir çift bağ oluşturması tepkimesi.

Ayrımsal çöktürme: bir çözeltide bulunan ve her biri aynı madde ile çökelek verebilen iki ya da daha fazla iyonun, o çöktürücü ile ayrılması.

Ayrımsal kristallendirme (tekrar kristallendirme): bir bileşiği saflaştırma yöntemi. Doygun çözeltiden saf katı kristallenir, safsızlıklar çözeltide kalır.

Azeotrop: sabit bir kaynama noktası bulunan, sıvı ve buhar fazlarındaki bileşimi aynı olan çözelti. Azeotrop kaynama noktası, bazı durumlarda, çözelti bileşenlerinin kaynama noktasından daha düşük (minimum kaynama noktası), bazı durumlarda daha büyük (maksimum kaynama noktası) olur.

Bağ açısı: iki kovalent bağ arasındaki açı. Merkez atoma bağlı iki atomun merkez atomla aralarındaki açıdır.

Bağ ayrışma enerjisi, D: gaz halindeki bir türün bir mol kovalent bağını ayrıştırmak için gereken enerji. Çoğu kez kJ/mol birimiyle verilir.

Bağ çifti: kovalent bağ oluşumunda yer alan elektron çifti.

Bağ derecesi: bir kovalent bağda, bağlayıcı orbital ve karşıt bağlayıcı orbitallerin taşıdıkları elektronların farkının yarısı. Tek bağın bağ derecesi 1, ikili bağın 2 ve üçlü bağın 3 tür.

Bağ uzunluğu: kovalent bağla bağlı iki atomun merkezleri arasındaki uzaklık.

Bağlayıcı molekül orbitali: bağlı iki atomun arasında elektron bulunma olasılığı ya da yük yoğunluğu yüksek olan bölge.

Bağlayıcı olmayan molekül orbitali: bağ yapmada kullanılmayan molekül orbitali.

Band kuramı: metal ve yarı iletkenlerdeki bağlanmayı açıklamak için geliştirilmiş, bir çeşit molekül orbital kuramı.

Bar: bir bar 100 kilopaskaldır (1 bar = 100 kPa).

Barometre basıncı: barometrenin gösterdiği atmosfer basıncı.

Barometre: atmosfer basıncını ölçmekte kullanılan düzenek.

Basamaklı polimerleşme tepkimesi: monomerlerden küçük moleküllerin ayrılmasıyla meydana gelen polimerleşme tepkimesidir. Örneğin, bir monomerdeki H atomunun bir başka monomerin –OH grubuyla tepkimeye girmesiyle bir H_2O molekülü ayrılabilir.

Basınç-hacım işi: gazların genleşmesi ya da sıkışmasının yaptığı iş.

Basınç: birim alana düşen kuvvet.

Basit basamak: tepkime mekanizmasındaki her bir basamağı gösterir. bir molekülün enerjisini ya da geometrisini değiştiren veya yeni moleküller oluşturan durumdur.

Baş grup elementleri: *s* ve *p* orbitallerini dolduran elementler. Bunlara *s*-bloku ve *p*-bloku elementleri de denir. Periyodik çizelgenin 1., 2. ve 13., 18. gruplarında bulunurlar (A grupları).

Batarya: kimyasal değişimden elektrik üretmekte kullanılan volta hücreleri (ya da +, – ye seri bağlı volta hücreleri).

Baz iyonlaşma sabiti, K_b: zayıf bir bazın iyonlaşma tepkimesinin denge sabiti.

Baz: (1) sulu çözeltide OH^- iyonu veren bileşik (Arrhenius kuramı); (2) proton alan bileşik (Lowry-Bronsted kuramı); (3) kovalent bağ oluşturmak üzere element çifti sağlayabilen atom, iyon ya da molekül (Lewis kuramı).

Bazlık: bir elektron çifti vericisinin bir protonla tepkime verme eğiliminin ölçüsü.

Benzil grubu: bir metil grubunda bir hidrojen atomu yerine bir fenil grubunun geçmesiyle oluşan grup.

Beta (β) parçacığı: radyoaktif çekirdekte nötronun protona dönüşmesiyle yayılan elektron. Beta ışını da denir.

Bileşik: iki ya da daha çok elementin oluşturduğu madde. Fiziksel değişmeler özelliğini değiştirmez. Kimyasal değişmeyle elementlerine parçalanabilir.

Bileşim: bir madde örneğinde bulunan bileşenler ve onların göreceli miktarları.

Bilimsel yöntem: bilimin gelişmesini sağlayan gözlem, deney ve yasaların ve kuramların formüle edilmesi etkinliklerinin tümü.

Birim hücre: atom, iyon ya da moleküllerin kristalde tekrarlanan küçük bir topluluğu.

Birinci dereceden tepkime: hız eşitliğinde derişim terimlerinin toplam üssü 1 olan tepkime.

Birinci iyonlaşma enerjisi, I_1: *gaz* halindeki bir atomdan, en gevşek tutulan elektronun uzaklaştırılması için gerekli enerji. İkinci iyonlaşma enerjisi, gaz halindeki +1 yüklü bir iyondan ikinci bir elektronu uzaklaştırmak için gereken enerjidir (I_2). Diğer iyonlaşma enerjileri de benzer şekilde tanımlanabilir.

Birincil karbon: başka bir karbon atomuna bağlı karbondur.

Birincil pil: kimyasal bir tepkimede elektrik üretir, tepkimenin tersi olamaz. Sonuç olarak pil şarj edilemez.

Birincil renk: birbirlerine ışık olarak eklendiklerinde beyaz ışık oluşturan renkler seti. Dışlayıcı karışım rengin yokluğuna (siyah) neden olur. Kırmızı, sarı ve mavi birincil renklerin bir setidir.

Birincil yapı: proteinleri oluşturan polipeptit zincirindeki amino asit sırası.

Birleşik hacimler yasası: aynı sıcaklık ve basınçta bir tepkimede *gazların* hacimleri arasında küçük tamsayılarla ifade edilen bir oran vardır.

Boyle yasası: belli miktarda bir gazın, sabit sıcaklıktaki hacmi basıncıyla ters orantılıdır.

Bozunma sabiti: radyoaktif bozunmada birinci dereceden hız sabiti.

Bölgesel arıtma: bir materyal çubuğunun ard arda eritme dondurma işlemlerine tabi tutulduğu bir saflaştırma yöntemi. Safsızlıklar erimiş bölgede ilerleyerek çubuğun ucunda toplanır. Sonra bu uç kesilerek atılır.

Buhar basıncı eğrisi: buhar basıncının sıcaklığa karşı grafiği.

Buhar basıncı: sıvısı ile dinamik dengede olan buhar basıncı.

Buharlaşma: moleküllerin sıvı halden gaz haline geçişleri.

Cam: $[SiO_4]^{2-}$ iyon ağı içinde Na^+ve Ca^{2+} iyonları içeren saydam ve amorf bir katı. Sodyum ve kalsiyum karbonatlarla kumun karışımının eritişiyle elde edilir.

Celcius sıcaklık eşeli: buzun erime noktasını O °C, suyun kaynama noktasını 100 °C kabul eden sıcaklık eşeli.

Charles yasası: sabit miktarda bir gazın sabit basınçtaki hacmı ile kelvin sıcaklığı doğru orantılıdır.

***cis-trans* izomerlik:** stereoizomerliğin bir çeşidi.

Cis: bir organik molekülde iki grubun, çift bağın aynı tarafında, kare düzlem yapının aynı köşesine doğru ve oktahedral kompleks iyonda komşu iki köşede bulunması.(Ayrıca bakınız geometrik izomerlik.)

Çapraz konformasyon: metil grupları birbirlerine göre solda ve sağda bulunurlar.

Çekirdek (Nüklit): kendine özgü atom numarası ve kütle numarası vardır. $^A_Z E$ simgesiyle gösterilir.

Çekirdek birleşmesi (füsyon): küçük atom çekirdeklerinin daha büyük atom çekirdekleri vermesi. Bunların bir kısım kütleleri enerjiye dönüşür.

Çekirdek bozunması (fisyon): ağır bir çekirdeğin daha küçük çekirdeklere ve birkaç nötrona dönüştüğü ve önemli miktarda enerjinin açığa çıktığı radyoaktif bozunma.

Çekirdek eşitliği: çekirdek tepkimesi sırasındaki değişmeyi gösteren eşitlik. Hedef çekirdek ve üzerine gönderilen parçacıklar eşitliğin sol tarafında, ürün çekirdek ve fırlayan parçacıklar sağ tarafında gösterilir.

Çelik: %0-1,5 C ve V, Cr, Mn, Ni, W, Mo gibi anahtar elementler içeren demir alaşımı.

Çevre: bir sistemin temasta olduğu uzay bölümü.

Çevrilme tepkimesi: bir molekülün diğer izomerik formlarına dönüştüğü tepkime.

Çift bağ: bağlı iki atomun arasında iki elektron çifti ortaklanmıştır. Bu bağ (═) ile gösterilir.

Çiftlenimli tepkimeler: birlikte meydana gelen kimyasal tepkimeler dizisi. Tepkimelerin biri ya da daha çoğu tek başına *istemsiz*, diğerleri *istemlidir*, bu durumda net tepkime *istemli* olur.

Çizgi spektrumu: uyarılmış atom veya iyonların yayınladığı ışık tarafından oluşur. Bu spektrum, bir elektronun bir enerji seviyesinden diğerine geçişinde ortaya çıkan belirli dalgaboylarındaki çizgileri içerir.

Çizgi-açı formülleri: organik moleküllerin kısa gösterimidir, bağlar için çizgi çizilir, fakat kimyasal simgeler sadece karbon ve hidrojen dışındaki elementler için yazılır.

Çok atomlu iyon: kovalent bağlı iki ya da daha fazla atomun oluşturduğu iyon.

Çok değerli asit: asit-baz tepkimesinde, molekül başına, birden fazla proton verebilen asit. Protonlar sıra ile verilir ve ilk proton en kolay verilir.

Çok dişli ligand: bir komplekste bir ligandın farklı atomlarından ve geometrik yapısının farklı taraflarından merkez atomuna birden fazla elektron çifti sağlayabilen ligand.

Çökelek: kimyasal tepkime sonucu çözeltiden çöken, çözünmeyen katı.

Çözelti: (bakınız **homojen** karışım.)

Çözeltinin ayarlanması: bir çözeltinin gerçek derişiminin bulunması. Genellikle titrasyon ile yapılır.

Çözücü: içinde bir ya da daha çok çözünen türün çözünmüş olduğu madde. Çözücü genellikle çözünenlerden miktarca daha fazladır ve çözeltinin oluşturğu madde halini (katı, sıvı, gaz) belirler.

Çözünen: bir çözücüde çözünen bileşik. Bir çözücüde birden çok çözünen olabilir. Çözünenlerin miktarları genellikle çözücü miktarından azdır.

Çözünürlük çarpımı sabiti, $K_{çç}$: az çözünen iyonik bileşiklerin doygun çözeltilerindeki denge sabiti, $K_{çç}$ iyon derişimlerinin, (uygun üsleriyle birlikte), çarpımına eşittir.

Çözünürlük: bir bileşiğin doygun çözeltilerindeki çözünmüş olan derişimi.

***d*-bloku:** periyodik çözelgenin d-orbitallerinin dolmakta olduğu elementleri içeren bölümü.

Dalga mekaniği: kuantum kuramının bir şekli. Dalga-tanecik ikiliği, Heisenberg belirsizlik ilkesi ve elektronun bir dalga hareketi olduğu temeline dayanır. Dalga mekaniği denklemlerinin matematiksel çözümlerine dalga fonksiyonları (ψ) denir.

Dalga-tanecik ikiliği: de Broglie tarafından ileri sürülmüştür ve madde parçacıklarının aynı zamanda dalga benzeri özellikler gösterdiğini ve tam tersinin de geçerli olduğunu ifade eder. Bu durum elektronların bir nikel kristaline yönlendirilmesinden elde edilen kırınım desenleriyle gösterilmiştir.

Dalga: bir ortamda enerji taşıyan dağılım.

Dalgaboyu: bir dalga hareketinin birbirlerini izleyen tepeleri ya da çukurları arasındaki uzaklık.

Dalton'un kısmi basınçlar yasası: bir gaz karışımının toplam basıncı, karışımdaki her bir gazın basınçları toplamına eşittir (bakınız kısmi basınçlar).

Değerlik (valans) bağ yöntemi: kovalent bağları atomik ya da melez atomik orbitallerin örtüşmesiyle açıklama yöntemi. Elektronun bulunma olasılığı (ya da elektron yük yoğunluğu) örtüşme bölgesinde yoğunlaşmıştır.

Değerlik elektronları: en büyük baş kuant numaralı elektron tabakasında bulunan elektronlar.

Değerlik kabuğu elektron çifti itmesi (VSEPR) kuramı: molekül ve çok atomlu iyonların uzaydaki olası biçimini (geometrisini) öngörmeye yarayan kuram. Merkez atomunun değerlik kabuğunda bulunan elektron çiftlerinin birbirlerini karşılıklı itmesine dayanır.

Değişim çizelgesi: denge hesaplamalarında işlem kolaylılığı için verilerin düzenlemesinde kullanılan bir format. Denge veya denge derişimlerine eşirmek için tepkenlerin ve ürünlerin başlangıç derişimlerine dayalı bir çizelge.

Dejenere orbitler: aynı enerji seviyesinde olan orbitaller.

Delokalize molekül orbitali: yüksek elektron bulunma olasılığı veya yük yoğunluğu olan, üç ya da daha çok atomu içine alan bölge.

Denaturasyon: bir proteinin ikincil ve üçüncül yapılarını değiştirerek biyolojik etkinliğini yitirmesi.

Denge sabiti ifadesi: denge halindeki bir sistemdeki maddelerin derişimleri (kısmi basınçları) arasındaki ilişkiyi belirten ifade.

Denge sabiti: denge sabiti ifadesinin sayısal değeri.

Denge: ileriye doğru tepkimenin hızı ile geriye doğru tepkimenin hızının eşit olduğu ve hiç bir net değişmenin meydana gelmediği durum. Örneğin, tersinir bir tepkimede çıkış maddelerinin ve ürünlerin derişimleri zamanla değişmez.

Denkleştirilmiş eşitlik: aynı tip atomların, denklemin her iki tarafında da aynı sayıda bulunduğu eşitlik. (Ayrıca bakınız kimyasal tepkime.)

Deoksiribonükleik asit (DNA): hücre çekirdeğindeki kromozomların genlerini oluşturan madde.

Derişim pili: farklı derişimdeki çözeltilere aynı iki elektrodun yerleştirilmesiyle oluşan pil. Potansiyel farkı (emk) iki çözeltinin derişimlerine bağlıdır.

Derişim: (1) bir çözeltinin bileşimini ifade eder. (2) Bakınız üretim metalurjisi.

Deterjan: yağları çözerek temizleyen madde. Sentetik deterjanların çoğu organik sülfonik asitlerin sodyum tuzlarıdır, $RSO_3^-Na^+$.

Diagonal (çapraz) ilişkiler: Li ve Mg, Be ve Al, B ve Si gibi, periyodik çözelgenin farklı grup ve periyotlarındaki bazı element çiftlerinde gözlenen benzerlik.

Diastereomerler: bir maddenin, birbirinin ayna görüntüsü olmayan optik izomerleri.

Difüzyon: bir maddenin (gaz ya da sıvı), daha önceden mevcut olmadığı bir bölgeye, gelişigüzel molekül hareketi ile yayılması.

Dimer: basit iki molekül biriminin bir araya gelmesi ile oluşan bir molekül. $AlCl_3$ ün dimeri olan Al_2Cl_6 gibi.

Dipol moment, μ: bir molekülde pozitif ve negatif yük merkezleri arasındaki ayrılıktan oluşan büyüklü-

ğün bir ölçüsü. Birimi debye, $3{,}34 \times 10^{-30}$ cm dir.

Dispersiyon (London) kuvvetleri: anlık ve indüklenmiş dipollerle oluşan moleküllerarası kuvvetler.

Diyamagnetik: bütün elektronları eşleşmiş ve magnetik alandan çok az etkilenen madde.

Doğa yasası: gözlenen doğa olaylarını nitelemek için söylenen söz.

Doğal bolluk yüzdesi: bir elementin izotoplarının doğada bulunma yüzdesi.

Doğruluk: ölçülen değerin gerçek değere "yakınlığı".

Donma: bir sıvının katıya dönüşmesi.

Donma: bir sıvının katıya dönüşmesi. Donma noktası denen sabit sıcaklıkta meydana gelir.

Doygun çözelti: verilen bir sıcaklıkta normal olarak çözünmesi gerekenden daha fazla çözünen içeren çözelti.

Doymamış çözelti: verilen koşullarda çözebileceğinden daha az çözünen bulunduran çözelti.

Doymamış hidrokarbon: molekülünde iki ya da daha fazla karbon-karbon katlı bağları içeren hidrokarbon.

Doymamışlık derecesi: bir molekülde bulunan π bağları ve halka yapılarının toplamı.

Doymuş hidrokarbon: karbon atomları arasında yalnızca tek bağlar içeren hidrokarbonlar.

Dönüm noktası: bir titrasyonda indikatörün renk değiştirdiği an. Titrasyon tepkimelerinde indikatör öyle seçilir ki, dönüm noktası (indikatörün renk değiştirdiği an) tepkimenin eşdeğerlik noktasına olabildiğince yakın olsun.

Dördüncül karbon: dört karbon atomuna bağlı olan karbondur.

Dördüncül yapı: bazı proteinlerde görülen yapı. Polipeptit zincirlerinin daha büyük ve daha kompleks yapıları nasıl oluşturduğunu gösterir.

Duran dalga: uzunluğu sabit olan bir ortamda sürekli olarak titreşen ve enerjisine göre belli sayıda düğüm içeren dalga. Gerilmiş bir gitar telinin titreşimi ve elektronların madde dalgası davranışı örneklerdir.

E, Z sistemi: karbon-karbon çift bağına bağlı olan grupların durumunu açıklamak için kullanılan bir isimlendirme sistemi.

E1 tepkimesi: hız belirleyen basamağı tek moleküllü olan ayrılma tepkimesi.

E2 tepkimesi: hız belirleyen basamağı iki moleküllü olan ayrılma tepkimesi.

Efüzyon: bir gazın, içinde bulunduğu kaptaki küçük bir delikten kaçması ya da sızması.

Ekzotermik tepkime: kapalı sistemlerde sıcaklığı arttıran, açık sistemlerde ısı açığa çıkaran tepkime.

Elektrofil: elektron çeken pozitif yük (elektrofilik merkez) bölgesi içerir ve bağ elektronlarını nükleofilden alarak bağ oluşturur.

Elektrofilik merkez: bir molekülde elektron çeken pozitif yüklü kısım.

Elektrofilik yerdeğiştirme tepkimesi: elektrofil, bir molekülde diğer atom veya gruplarla yerdeğiştirir. Benzendeki bir H atomunun bir nitro (NO_2) grubu ile yerdeğiştirmesi elektrofilik yerdeğiştirme tepkimesine örnektir.

Elektrokimyasal hücre: yükseltgenme-indirgenme tepkimelerinde elektron aktarımının bir elektrik devresi üzerinde olduğu düzenek. (bakınız **volta pili**.)

Elektrolit olmayan: saf halinde ve çözeltilerinde iyon halinde bulunmayan bileşik.

Elektroliz hücresi: elektrolizle tepkime oluşturulan elektrokimyasal hücre.

Elektroliz: bir maddenin, sıvılaştırılmış halinde ya da elektrolit çözeltisinde, elektrik akımı yardımı ile ayrışması.

Elektromanyetik ışınım: birbirine dik elektrik ve manyetik alanlarda yayılan enerji şekli. Görünür ışık, kızıl ötesi, mor ötesi, X-ışını ve radyo dalgaları gibi.

Elektromotor kuvveti, emk: volta pilinin iki elektrodu arasındaki potansiyel farkı. Volt ile ifade edilir.

Elektron çeken gruplar: elektron yoğunluğunu kendilerine doğru çeken atom veya atom grupları. Örneğin F, O, N ve Cl gibi oldukça elektronegatif atomlar.

Elektron dağılımı: atomda elektronların orbitallere dağılışı.

Elektron grubu geometrisi: merkez atomunun değerlik kabuğundaki elektron çiftlerinin geometrik dağılımı.

Elektron ilgisi: nötral bir gaz atomunun elektron alması sırasındaki enerji değişimi.

Elektron spini: elektronların dönüşü. $+1/2$ ve $-1/2$ olabilir. Zıt spinli elektronlara eşleşmemiş, aynı spinli elektrona paralel spinli denir.

Elektron yakalama: içteki bir elektron tabakasından bir elektronun çekirdek tarafından yakalanmasıyla ortaya çıkan bir radyoaktif bozunma şekli. Elektron, çekirdekte bir protonu bir nötrona dönüştürmekte kullanılır.

Elektronegatiflik farkı: birbirine bağlı iki atom arasında, bağı polarlayabilme gücünü ifade etme şekli.

Elektronegatiflik: bağlı bir atomun elektron çekme gücünün ölçüsü. Metallerin elektronegatiflikleri düşük, ametallerin büyüktür.

Elektronlar: negatif elektrik yük birimini taşıyan ve bütün atomların çekirdeklerinin çevresinde bulunan tanecikler.

Elektrostatik potansiyel haritası: bir moleküldeki elektron dağılımını gösterir. En negatif bölge için kırmızı, en pozitif bölge için mavi renk kullanılır.

Elektrot: yüzeyindeki madde ile çözeltideki madde arakında indirgenme-yükseltgenme dengesinin kurulduğu bir metal yüzey.

Element: tek tip atomdan oluşmuş madde. Kimyasal tepkime yardımı ile daha basit maddelere ayrılamaz.

Empirik (kaba) formül: bir bileşik için yazılabilen en basit formül. Moleküldeki atomların türlerini ve en basit oranlarını belirtir.

Enantiyomerler (optik izomerler): birbirinin ayna görüntüsü olan ve bu görüntüleri üst üste çakışamayan moleküller. Bunlar birbirlerinin optik izomerleridirler ve düzlem polarize ışığı çevirirler.

Endotermik tepkime: kapalı bir sistemde sıcaklığın azaldığı tepkime. Açık sistemlerde ise ısı alan tepkime.

Endüstriyel sis: başlıca kirleticilerin $SO_2(g)$, $SO_3(g)$, H_2SO_4 sisi ve duman olduğu hava kirliliği.

Enerji seviyesi diyagramı: atomlarda elektronların bulunabilecekleri enerji düzeylerini gösteren diyag-

ram. En basit enerji seviyesi diyagramı hidrojen atomununkidir.

Enerji: iş yapabilme kapasitesi.(Ayrıca bakınız **iş.**)

Enerjinin korunumu yasası: enerji yoktan varolamaz, varolan enerji yokolamaz.

Entalpi değişimi, ΔH: bir sistemin iki hali arasındaki entalpi farkı. Sabit sıcaklık ve basınçta gerçekleşen bir kimyasal tepkimede, iş yalnızca basınç hacım işi ile sınırlıysa, entalpi değişimi *sabit basınçta tepkime ısısı* adını alır.

Entalpi diyagramı: bir süreçteki entalpi değişimlerinin şematik gösterimi

Entalpi, H: sabit basınçtaki olayları ifade eden termodinamik fonksiyon. $H = E + PV$, ve sabit basınçta, $H = \Delta E + P\Delta V$.

Entropi değişimi ΔS: bir sistemin iki hali arasındaki entropi farkı, ΔS pozitif ise düzensizlik artmıştır.

Entropi, S: bir sistemdeki düzensizliğin ölçüsü. Bir sistemde düzensizlik fazla ise entropiside büyüktür.

Enzim: biyolojik tepkimeleri katalizleyen büyük molekül kütleli bileşikler.

Erime: bir katının, **erime noktası** denen bir sıcaklıkta sıvı hale geçmesi. Bir maddenin erime noktası ile donma noktası aynı sıcaklıktır.

Ester: bir asit ile bir alkolden bir H_2O ayrılmasıyla oluşan bileşik.

Genel formülü $R—\overset{\overset{O}{\|}}{C}—O—R'$.

Eşdeğerlik noktası: bir titrasyonda çıkış maddelerinin stokiyometrik bakımdan eşit olduğu durum. Bunlar birbirlerine yetecek kadardır ve hiçbiri artmaz.

Eşlenik asit-baz çifti: kimyasal formüllerinde tek bir proton, H^+, farkı bulunan molekül veya iyon çifti (Örneğin, H_3O^+ ve H_2O; H_2O ve OH^-; NH_4^+ ve NH_3; H_3PO_4 ve $H_2PO_4^-$).

Eşlenik asit: Bronsted-Lowry bazının proton bağlamış hali. Her bazın bir eşlenik asidi vardır.

Eşlenik baz: Bronsted-Lowry asidinin proton vermiş hali. Her asidin bir eşlenik bazı vardır.

Eşleşme enerjisi: bir elektron tarafından işgal edilen orbitale diğer elektronu sokabilmek için gereken enerji.

Eter: genel formülü R—O—R′ olan bileşikler.

Etkin çekirdek yükü, Z_{et}: bir atomda belli bir elektrona etkiyen pozitif yük miktarı. Çekirdek yükü diğer elektronlarca perdelendiğinden, o belli elektronun "duyacağı" pozitif yük bir miktar azalacaktır.

Etkinlik: bir türün etkin derişimidir. Etkinlik katsayısı ile stokiyometrik derişimin ya da en kararlı haldeki basıncın çarpımından elde edilir.

***f*-bloku:** periyodik çizelgede f orbitallerinin dolmakta olduğu elementlerin oluşturduğu küme. Bunlar, lantanit ve aktinit elementleridir.

Fahrenheit: buzun 32 °F de eridiğini ve suyun 212 °F da kaynadığını kabul eden sıcaklık eşeli.

Faraday sabiti, F : bir mol elektronun taşıdığı yük, 96485 C/mol e^-.

Faz diyagramı: katı, sıvı ve gazların tek ya da ikisi veya daha çoğunun dengede olduğu fazlar şeklinde bulunduğu sıcaklık ve basınç koşullarının grafikle gösterimi.

Fenil grubu: benzen halkasından bir H atomunun çıkarılması ile oluşan C_6H_5—grubu.

Fenol: –OH işlevsel grubunun aromatik halkaya bağlı olduğu bileşikler.

Ferromanyetizma: bazı maddelerin (özellikle Fe, Co ve Ni) sürekli mıknatıs oluşturabilme özelliği. Atomların magnetik momentleri bölgecikleri şeklinde yönlenmiş olup, manyetik alan içinde bu bölgecikler sürekli mıknatıs vermek üzere yönlenirler.

Fischer izdüşüm formülü: üç boyutlu yapı formülünün iki boyutlu gösterimi. Kiral bir karbon atomunun stereokimyasını iki boyutta ve karbon- karbon ana zincirinin bir sayfada nasıl düzenlendiğini gösterir.

Fiziksel değişme: fiziksel değişmede bir maddenin fiziksel özellikleri değişir ancak bileşimi değişmeden kalır.

Fiziksel özellik: bir bileşiğin, bileşimini değiştirmeksizin gösterdiği özellikler.

Formal yük: nötral bir atomun değerlik elektronlarından, aynı atomun bileşiğindeki elektronların (Lewis yapısında) çıkarılmasıyla elde edilen sayı.

Formül birimi: formülü oluşturan atomların en küçük oranlarını gösteren atom grubu.

Formül kütlesi: bir bileşiğin formül biriminin karbon-12 ye göre ağırlığı (kütlesi).

Fotoelektrik olayı: bazı maddelerin yüzeyine, uygun frekansta elektromanyetik ışın düştüğünde elektron yayması.

Foton: ışık "taneciği". Işık ışınının enerjisi bu fotonlar içinde yoğunlaşmıştır.

Frasch yöntemi: sualtı yataklarındaki kükürdün eldesine yarayan bir yöntem. Kükürdü sıvılaştırmak için aşırı ısıtılmış su kullanılır.

Frekans (dalga hareketi için): verilen bir noktadan, birim zamanda geçen dalga sayısı. Frekans birimi zaman^{-1} ile ifade edilir, (örneğin, s^{-1} yani Hz olarak da adlandırılır).

Füsyon (bakınız **çekirdek birleşmesi**)

Galvanik pil: (bakınız **volta pili**).

Gama (γ) ışını: bazı radyoaktif çekirdeklerin yaydığı, yüksek delicilikteki elektromanyetik ışıma.

Gaz sabiti, R: ideal gaz denkleminde, ($PV = nRT$) ve bazı başka denklemlerde karşılaşılan sayısal sabit.

Gaz: maddenin bir hali olup, içinde bulunduğu kabın şekil ve hacmini alır. Atom ya da moleküller sıvı ve katılara göre çok daha dağılmışlardır.

Gazların kinetik kuramı: gaz davranışlarını açıklayan model. Gazların çeşitli özelliklerinden çıkarılan verilere ve bazı ön kabullere dayanır.

Geçici sertlik: (bakınız **sert su.**)

Geçiş durumu: bir kimyasal tepkimede tepkenler ve ürünler arasındaki ara hal (ayrıca bakınız **etkinleşmiş kompleks** ve **tepkime grafiği**)

Geçiş elementleri veya geçiş metalleri: en dış elektron tabakasından daha *içte* bulunan *d* ya da *f* orbitallerinin dolmakta olduğu atomları içeren elementler. Eğer *f* orbitalleri doluyorsa elementlere içgeçiş elementleri de denir.

Genel gaz denklemi: ideal gaz denklemine dayanan ve $P_1V_1/n_1T_1 = P_2V_2/n_2T_2$ şeklinde yazılan ifade.

Genişlemiş değerlik kabuğu: Lewis yapılarını açıklamak için üçüncü veya daha büyük periyotlarda bulunan bazı atomların değerlik kabuklarında 10 veya 12 elektron bulunması.

Genlik: dalganın orta çizgisinin üstünden tepesine kadarki uzaklık.

Geometrik izomerlik: organik bileşiklerde sübstitüentlerin çift bağa göre konumlarından dolayı ortaya çıkar ve eşdeğer olmayan yapıların (*cis*, *trans*) varlığını ifade eder. Ligandların merkez atomuna bağlanma konumlarından ileri gelir.

Gerçek gaz: davranışı ideal gazlardan beklenenden farklı olan gaz. Bu gazlar van der Waals denklemi gibi eşitliklere uyar.

Gerçek verim: bir kimyasal tepkimeden elde edilen ürünün ölçülen miktarı. (**Ayrıca** bakınız **kuramsal verim** ve **yüzde verim.**)

Gibbs enerji değişimi, ΔG: bir işlemde meydana gelen, Gibbs enerjisi değişimi. İstemli değişimin yönünü belirtmekte kullanılabilir. Sabit sıcaklık ve basınçta istemli bir işlem için $\Delta G < 0$ dır. (Ayrıca bakınız standart Gibbs enerji değişimi.)

Gibbs enerji, G: kendiliğinden olan değişmeleri belirlemek için geliştirilmiş termodinamik eşitlik: $G = H - TS$.

Gözlemci iyonlar: tepkime karışımında bulunan fakat tepkimeye katılmayan iyonik türler. Çoğunlukla kimyasal eşitlikte yokedilirler.

Graham yasası: iki farklı gazın efüzyon ve difüzyon hızlarının, mol kütlelerinin karekökleri ile ters orantılı olması.

Grup: periyodik çizelgede düşey elementler grubu. Grubun üyeleri benzer özelliklere sahiptir.

Hal denklemi: bir maddenin miktar, hacım, sıcaklık ve basıncına bağlı matematiksel eşitlik. (genellikle gazlara uygulanır).

Hal fonksiyonu: bir sistemin tanımlanan bir durumunda tek bir değer aldığı varsayılan özellik. Bu değer bu hale nasıl erişildiğinden bağımsızdır.

Halojenler arası bileşikler: iki halojen bileşiğinin verdiği, ICl, BrF_3 gibi bileşikler.

Halojenler: (17. grup) En etkin ameteller olup, değerlik kabuğu elektron dizilişi ns^2np^5 tir.

Heisenberg belirsizlik ilkesi: maddenin temel taneciklerinin konum ve momentumları ölçüldüğünde, ölçümlerdeki belirsizlik önlenemez.

Heksagonal sıkı istiflenme: kürelerin, aralarındaki boşluğu en aza indirdiği istiflenme şekillerinden biri.

Henderson-Hasselbach eşitliği: pH = pK_a + log [eşlenik baz]/[asit] eşitliği. Burada denge derişimleri yerine zayıf asit ve eşlenik bazının stokiyometrik derişimleri kullanılır. Geçerliliğinde sınırlamalar vardır.

Henry yasası: belli miktarda sıvıda, sabit sıcaklıkta, çözünmüş gaz miktarı gazın çözelti üzerindeki kısmi basıncı ile doğru orantılıdır:

$C = k \cdot P_{gaz}$.

Hertz (Hz): SI biriminde frekans, s^{-1} değerine eşit.

Hess yasası: bir tepkimedeki entalpi değişimi, tepkime basamaklarının entalpi değişimleri toplamlarına eşittir.

Heterojen karışım: karışımı oluşturan bileşenlerin fiziksel olarak ayrı ayrı bulunduğu durum.

Heterojen kataliz: iki faz arasındaki yüzeyde gerçekleşen katalitik etki.

Heterosiklik bileşikler: hidrokarbon halkasındaki C atomlarından bir ya da daha çoğunun N,O ve S gibi başka atomlarla yer değiştirmesinden oluşan bileşikler.

Hız belirleyen basamak: çok basamaklı bir tepkimede bütün tepkimenin hızını belirleyen (en yavaş) basamak.

Hız kareleri ortalamasının karekökü: bir gaz örneğindeki bütün gaz moleküllerinin hız kareleri ortalamasının karekökü.

Hız sabiti, k: tepkime hızını çıkış maddelerinin derişimlerine bağlayan katsayı.

Hız yasası (hız ifadesi): tepkime hızını çıkış maddelerinin hızı cinsinden ifade eden eşitlik: hız = $k[A]^m[B]^n$....

Hidrat: her bir formül biriminde belli sayıda su molekülü bulunan bileşik. Ör. $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

Hidrojen bağı: bir atoma kovalent bağlı bir hidrojen atomunun, aynı molekülde ya da komşu moleküldeki oldukça ametal olan bir atoma (O, N ve F gibi) bağlanması ile oluşan çekim kuvveti.

Hidrojenleme tepkimesi: H-atomlarının karbon-karbon katlı bağlarına katıldığı tepkime. Bu katılma ile karbonlar arasındaki ikili bağ tek bağa, üçlü bağ önce ikili, sonra tekli bağa dönüşür. Örneğin, doymamış yağ asitlerini doymuş yağ asitlerine çeviren tepkime.

Hidrokarbon: karbon ve hidrojenden oluşmuş bileşik. Karbon atomları uzun zincir, dallanmış zincir ya da halka yapısında olabilir.

Hidroksil grubu: OH grubu olup, düz zincirli ya da dallanmış zincirli hidrokarbonlara bağlı olabilir (alkol gibi) veya aromatik hidrokarbonlar gibi halkalı hidrokarbonlara bağlı olabilir (fenol gibi).

Hidroliz: iyonların asit ya da baz gibi davrandığı asit-baz tepkimelerinin özel adı.Çoğu tuz çözeltilerinde, hidroliz nedeniyle, pH ≠ 7 dir.

Hidrometalurji: metalleri cevherlerinden ayırmak için su ve sulu çözeltilerin kullanıldığı metalurji yöntemi. Birinci basamak **ıslatma** olup, burada metal sulu çözeltide çözünür duruma getirilir. Diğer basamaklar ıslama çözeltisini saflaştırmak ve sonra metali çözeltiden çöktürmektir.

Hidronyum iyonu, H_3O^+: sulu çözeltide protonların bulunuş şekli. "Hidrojen iyonu" terimi ile "hidronyum iyonu" terimi birbirinin yerine sıksık kullanılır.

Hidrürler: hidrojen bileşikleri olup üç sınıfa ayrılabilirler; kovalent (H_2O, HCl gibi), iyonik (LiH, CaH_2 gibi) ve metalik (geçiş metallerinin verdiği stokiometrik olmayan bileşikler).

Hipotez: bir dizi gözlem ya da doğa yasasının geçici açıklaması, varsayım.

Homojen karışım (çözelti): bileşimi ve özellikleri her noktasında aynı olan, element ve bileşik karışımları. Bileşim ve özellikler örnekten örneğe değişebilir

Homojen kataliz: tek fazda gerçekleşen katalitik tepkime.

Homolog seri: bileşimi sabit bir birim kadar değişen bileşik grubu. (Alkanlarda CH_2).

Hund kuralı: ayrı enerji düzeyindeki orbitallere elektron önce teker teker girerler. Bütün orbitaller birer elektron almadıkça elektron eşleşmesi olmaz.

Hücre diyagramı: elektrokimyasal hücrenin simgesel gösterimidir. Hücre tepkimesinde yer alan maddeleri, elektrot materyallerini, çözelti derişimlerini, vb. içerir.

Hücre gerilimi (potansiyeli) $E_{hücre}$: bir elektrokimyasal hücrede iki elektrot arasındaki potansiyel farkı (gerilim).

Hücre: canlı organizmaların temel birimi

İç enerji, E: bir sistemin, maddedeki parçacıklarından ve bunların birbiri üzerine etkilerinden ileri gelen toplam enerjisi.

İç merkezli kübik (imk) : kübik birim hücrenin sekiz köşesinde birer atom ve kübün merkezindede bir atomun bulunduğu kristal yapı.

İdeal çözelti: $\Delta H_{çöz} = 0$ olan ve bazı özellikleri (özellikle buhar basıncı) çözelti bileşenlerinin özelliklerinden çıkarılabilen çözelti.

İdeal gaz denklemi: basınç, hacım, sıcaklık ve mol sayısı arasındaki PV = nRT ilişkisi.

İdeal gaz sabiti: (bakınız **gaz sabiti.**)

İdeal gaz: davranışları ideal gaz denklemine uyan gaz.

İki dişli ligand: bir kompleksin merkez atomunun koordinasyon küresine iki ucuyla bağlanan ligand.

İki moleküllü işlem: iki molekülün çarpışmasıyla yürüyen işlem.

İkili bileşik: iki elementten oluşan bileşik

İkili kovalent bağ: bağlanan iki atom arasında *iki elektron çiftinin* ortaklaşması. İki çizgi (═) ile gösterilir.

İkinci dereceden tepkime: tepkime hız ifadesindeki derişim terimlerinin üsleri toplamı 2 olan kimyasal tepkime.

İkincil karbon: başka iki karbon atomuna bağlı karbondur.

İkincil pil: tersinir bir kimyasal tepkimeden elektrik üretir. Ters yönde elektrik geçerse pil şarj olur.

İkincil renk: birincil rengin tamamlayıcısıdır. Birincil bir renkle onun tamamlayıcı (ikincil) renginin ışığı toplanırsa sonuç beyaz ışıktır. Birbirlerinden çıkarılırlarsa sonuç rengin yokluğudur (siyah).

İkincil yapı: polipeptit zincirinin yapısı ya da şekli (ör. sarmal yapı).

İkiz (geminal) dihalojenür: halojen, alkenin ikili bağına katılır ve iki halojen atomu da aynı karbona bağlanır.

imk (bakınız **iç merkezli kübik.**)

İndikatör: titrasyon karışımına az miktar eklendiğinde, eşdeğerlik noktasında renk değiştiren bileşik.

İndirgen şeker: Cu^{2+}(suda) iyonunu kırmızı renkli ve suda çözünmeyen Cu_2O bileşiğine indirgeyen şeker. İndirgen şekerde karboksil grubuna yükseltgenebilen bir aldehit grubu vardır.

İndirgen: kendisi *yükseltgenerek*, karşısındakini indirgeyen bileşik ya da iyon.

İndirgenme-yükseltgenme tepkimesi: bazı atomların yükseltgenme basamaklarının değiştiği tepkime. Yükseltgenme basamağı büyüyen atomu içeren bileşik yükseltgenir, yükseltgenme basamağı küçülen atomu içeren bileşik indirgenir. (Ayrıca bakınız **üretim metalurjisi.**)

İndirgenme: bir atomun elektron "kazanması" ve yükseltgenme basamağını küçültmesidir. (İndirgenme, yükseltgenme ile birlikte yürür).

İndüktif etki : elektron yoğunluğunun bir atomdan diğer atoma, onları bağlayan σ bağı boyunca kayması.

İnert kompleks: ligand değişiminin çok yavaş olduğu kompleks iyon.

İnorganik bileşik: organik bileşik sınıflandırmasına uymayan elementlerin oluşturduğu bileşik. (Ayrıca bakınız **organik bileşik.**)

İntegrali alınmış tepkime hızı: hız ifadesinin integralinin alınmasıyla bulunan hız. Tepkimenin başlangıcından itibaren geçen zamanda çıkış maddesinin (ya da ürünün) derişimindeki değişimle ifade edilir. Eşitlik, tepkimenin mertebesine göre çeşitli şekiller alır.

Isı kapasitesi: bir maddenin sıcaklığını bir derece değiştirmek için gerekli ısı miktarı olup, genellikle J/°C ya da cal/°C birimiyle ifade edilir.

Isı: sıcaklık farkından dolayı alınan ya da verilen enerji.

Isıl (termal) enerji: moleküllerin gelişi güzel hareketlerinden ileri gelen enerji.

İskelet yapısı: Lewis yapısında atomların düzenlenmesi olup, deneysel olarak bulunan gerçek düzenlenmeye karşılık gelir.

İstemli (doğal) süreç: kendi haline bırakılan bir sistemde gerçekleşebilen süreçtir. Sürecin gerçekleşmesi için dış etkiye gerek yoktur, bazı durumlarda süreç çok uzun zaman alabilir.

İstemsiz tepkime: doğal olarak meydana gelmeyen tepkime. Böyle tepkimeler, dışardan enerji verilerek gerçekleştirilebilirler.

İş: bir sistem ile çevresi arasında alınıp verilen bir enerji şekli. Yol ile etkiyen kuvvetin çarpımı şeklinde ifade edilebilir.

Işık hızı: c, $2{,}99792458 \times 10^8\ m\ s^{-1}$.

İşlevsel grup: R hidrokarbon kökünе bağlı atom ya da atom grubu. Organik moleküle özel davranış kazandırır.

IUPAC (veya IUC): uluslararası kimyacılar ve kimya mühendisleri birliğinin İngilizce yazılışının kısaltılmışı. Görevlerinden biri, kimya terimleri ve adlandırma konusunda öneride bulunmaktır.

İyon çarpımı, $Q_{çç}$: çözünürlük çarpımı $K_{çç}$ gibi ifade edilir. Fakat derişimler *denge derişimleri değildir*. $Q_{çç}$ ile $K_{çç}$ nin karşılaştırılması, çözeltiden çökelek oluşumunun örgörülmesinin bir ölçütüdür.

İyon çifti: çözeltide bir katyon ile bir anyonun birbirine yakın olarak bulunması. Bu ikilik çözelti dengelerine önemli etkilerde bulunur.

İyon değiştirme: bir çözeltideki iyonların, bir iyon değiştiricinin yüzeyinde tutulmuş başka iyonlarla değiştirilmesi. Örneğin, Ca^{2+} ve Mg^{2+} yerine Na^+; SO_4^{2-} yerine OH^- geçirilmesi.

İyon yarıçapı: küresel bir iyonun yarıçapı. Bir elementin iyonik bileşiklerindeki atom yarıçapı.

İyon: yüklü atom ya da atom grupları. Atom ya da atom gruplarının elektron alması ya da elektron vermesiyle oluşurlar.

İyonik bağ: metal ve ametal atomları arasındaki elektron aktarımından ileri gelen bağ. Oluşan pozitif ve negatif yüklü iyonlar, elektrostatik çekimler yardımıyla bir arada tutulurlar.

İyonik bileşik: negatif ve pozitif iyonları elektrostatik çekim kuvvetleri ile bir arada tutulduğu bileşik.

İyonlaşma derecesi: zayıf asit ve bazların iyonlaşma çokluğu. Zayıf elektrolitlerin çözeltileri seyreldikçe iyonlaşma dereceleri artar (bakınız iyonlaşma yüzdesi.)

İyonlaşma yüzdesi: zayıf asit ve zayıf bazların, sulu çözeltide iyonlaşan moleküllerinin yüzdesi.

İzoelektrik nokta, pI: bir amino asidin, dipolar iyonunun ya da **zwitter iyonunun** baskın olduğu pH değeri.

İzoelektronik: aynı sayıda elektron içeren (genellikle aynı dağılımda). Na^+ ve Ne, CO ve N_2 izoelektroniktir.

İzole sistem: çevresi ile madde ve enerji alışverişi olmayan sistem.

İzomerler: aynı molekül formülüne sahip ancak farklı yapısal formüle ve dolayısı ile farklı özelliklere sahip iki ya da daha fazla bileşik.

İzotoplar: bir elementin, çekirdeğinde farklı sayıda nötron taşıyan atomları. Yani, bir elementin izotopları aynı atom numarasına ancak farklı kütle numarasına sahiptirler.

Kalıcı sertlik: (bakınız, sert su).

Kalori (cal): 1 g suyun sıcaklığını 1 °C arttırmak için gerekli ısı miktarı.

Kalorimetre bombası: yanma tepkilemelerinde ısı miktarını ölçmeye yarayan düzenek. Sabit hacimde tepkime ısısı ölçülür, $q_v = \Delta E$.

Kalorimetre: ısı miktarını ölçmekte kullanılan düzenek.

Kalsinasyon: bir katının, erime noktasının altında ısı etkisiyle bozunması. Örneğin, kalsiyum karbonatın kalsiyum oksit ve $CO_{2(g)}$ şeklinde ayrışması.

Kapalı sistem: çevresi ile enerji alış verişi olan, madde alışverişi olmayan sistem.

Kapasite özelliği: maddenin miktarına bağlı, kütle ve hacim gibi, özellikler.

Kararlı iyon çifti etkisi: bazı geçiş metali sonrası element atomlarının değerlik kabuklarının *s* orbitalinde bulunan bir elektron çiftinin özelliklerine etkisini gösterir.

Kararsız kompleks: hızlı ligand değişimi verebilen kompleks iyon.

Karboksil grubu: $-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$

Karboksilli asit: hidrokarbon zincirine ya da halkasına bir ya da daha fazla karboksil grubunun bağlı olduğu bileşik.

Karbon siyahı: tam yanmamış hidrokarbonlardan elde edilen toz halindeki amorf karbon şekli

Karbonhidrat: polihidroksi aldehit, polihidroksi keton ve hidroliz olduğunda bunları veren bileşikler. Karbohidratların genel formülleri $C_x(H_2O)_y$ olup, görünüş olarak, "su içeren karbon gibidir".

Karbonil grubu: $>C=O$.

Aldehit, keton ve karboksilli asitlerde bulunur.

Karışım: saf olmayan, yani bir tek element ya da bileşik olmayan madde örneği. Karışımın derişimi değişebilir. Karışım homojen ya da heterojen olabilir.

Karşıt-bağlayıcı molekül orbitali: bir molekülde bağlı iki atom arasında, elektronun bulunma olasılığının ya da yük yoğunluğunun düşük olduğu bölge.

Katalizör: kimyasal tepkimenin daha düşük aktivasyon enerjili mekanizmayı izlemesini sağlayan madde. Tepkimenin hızı artar. Katalizör değişmeden çıkar.

Katı yağlar: doymuş yağ asidi bileşenlerinin baskın olduğu trigliseritler.

Katı: atom ve moleküllerin en uygun biçimde ve yakın istiflenmesi, maddelerin belli bir şekil ve hacme sahip olduğu hali (Ayrıca bakınız **kristal**.).

Katılma tepkimesi: bir molekülün diğer bir molekülün ikili ya da üçlü bağına katılması.

Katılma ürünü: iki basit molekülün bir koordine kovalent bağla birbirlerine katılarak oluşturduğu bileşik, örneğin sayfa 948 de gösterilen $AlCl_3$ ve $(C_2H_5)_2O$ nin katılma ürünü.

Katılma-ayrılma tepkimesi: bileşiklerin birbirlerine dönüşmesiyle olan net tepkimedir. (1) karbonil karbonuna nükleofilik bir katılmayla dörtyüzlü ara ürün oluşumunu, sonra (2) karbonil grubunun düzenlendiği bir ayrılma tepkimesini içerir.

Katlı kovalent bağ: bağlı atomlar arasında ikiden fazla elektronun ortaklanması ile oluşmuş bağ.

Katlı oranlar yasası: iki element birden fazla bileşik veriyorsa, elementlerden birinin sabit kütlesi ile diğerinin kütleleri arasında basit sayılarla ifade edilebilen sabit bir oran vardır.

Katodik koruma: bir korozyon kontrol yöntemi. Korunacak metale daha etkin bir metal eklenerek, asıl metal yerine eklenenin korozyona uğraması sağlanır. Korunan metal volta hücresinin katodu ödevini görür.

Katot ışınları: basıncı çok düşük gazlara eletrik akımı uygulandığında negatif elektrottan yayılan negatif yüklü parçacıklar (elektronlar).

Katot: üzerinde indirgenme yarı tepkimesinin meydana geldiği, elektrokimyasal hücre elektrodu.

Katyon: pozitif yüklü iyon. Elektrokimyasal hücrede katoda göçer.

Kavurma (bakınız üretim metalurjisi.)

Kaynama: bir sıvının her noktasında buhar oluşma işlemi. Buhar basıncı atmosfer basıncına eşit olduğunda kaynama olur.

K_c: dengedeki bir tersinir tepkimenin çıkış maddeleri ve ürünlerinin *derişimleri* arasındaki ilişki. Derişimler molarite cinsindendir.

Kelat yapıcı: çok dişli ligandlar. Bunlar, bir kompleks iyonun iki ya da daha çok konumuna eşzamanlı olarak bağlanırlar.

Kelat: kelatlar, çok dişli ligandların, kompleks iyonun merkez atomuna bağlanmasıyla oluşurlar. Kelat merkez atomuna ligant atomlarının bağlı olduğu beşli ya da altılı halka yapısındadırlar.

Kelatlaşma etkisi: bir kompleks iyonun, çok dişli ligandlar varlığında fazladan kararlılığı.

Kelatlaşma: kelat oluşumu işlemi.

Kelvin sıcaklığı: mutlak sıcaklıktır. Ulaşılabilen en düşük sıcaklık 0 K = –273,15 °C dir. (moleküler hareketin durduğu sıcaklık). Kelvin sıcaklığı ile Celcius sıcaklığı birbirine $T(K) = t(°C) + 273,15$ eşitliği ile bağıntılıdır.

Kendiliğinden yürüyen: hiç bir dış etki olmaksızın yürüyen tepkime ya da olgu.

Kesinlik: ölçülen niceliğin tekrarlanabilirlik derecesi. Tekrarlanan ölçümler arasındaki yakınlık.

Keton: genel formülü $R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R'$ olan bileşikler.

Kırağılaşma: moleküllerin gaz halinden katı hale geçmesi.

Kırınım: Yivli bir yüzeyden yansıyan ışığın girişimi sonucu ışığın kendi farklı bileşenlerine yayılması

Kısmi basınç: bir gaz karışımında, gazlardan birinin, diğerlerinden bağımsız olan basıncı. Karışımdaki her bir gaz kabı doldurur ve kendi kısmi basıncına sahiptir.

Kilopaskal (kPa): 1000 paskal (pa) veya 1000 N/m^2 ye eşit olan basınç birimi. Standart atmosfer basıncı 101325 kPa.

Kimyasal enerji: kimyasal bağlardan ve moleküllerarası itmelerden ileri gelen enerji.

Kimyasal eşitlik: kimyasal tepkimenin simgesel gösterimi. Tepkimeye giren ve tepkimeden çıkan maddeler simge ve formüllerle gösterilir ve eşitliği denkleştirmek için sayılar kullanılır.

Kimyasal formül: bir kimyasal bileşikte atom türlerini ve bu atomların göreceli sayılarını veren gösterim.

Kimyasal özellik: bir madde örneğinin, belli bir kimyasal tepkimede sahip olduğu (ya da olmadığı) nitelik.

Kimyasal simge: bir elementin adının bir ya da iki harflik kısaltılması. (N = azot, Ne = neon gibi).

Kimyasal tepkime: bir grup maddenin (çıkış maddeleri) yeni bir grup maddeye (ürünler) dönüşmesi.

Kinetik enerji: hareket enerjisi. Kütlesi m, hızı u olan bir cismin kinetik enerjisi K.E. $= \frac{1}{2} mu^2$ dir.

Kiral olmayan (akiral): kendi ayna görüntüsü ile üstüste çakışan molekül (ayrıca bakınız **kiral**)

Kiral: kendi ayna görüntüsü ile üstüste çakışmayan molekül (ayrıca bakınız **enantiyomerler**).

Kohezyon kuvvetleri: birbirinin aynı olan moleküller arasındaki kuvvetler. (ör. bir sıvı damlasında).

Kok: taş kömürünün havasız yerde ısıtılmasıyla oluşan, göreceli saf karbon.

Koligatif (sayısal) özellikler: buhar basıncı düşmesi, donma noktası alçalması, kaynama noktası yükselmesi ve osmotik basınç gibi çözeltideki parçacığın niteliğine değil niceliğine bağlı olan özellikler.

Kolloit: iyon ve moleküllerden büyük, fakat hala mikroskopiktir.

Kompleks iyon: net elektrik yükü taşıyan kompleks.

Kompleks: çok atomlu katyon, anyon ya da nötral molekül. Bunlarda (molekül ve iyon) merkez metal atomu ya da iyonuna ligand denen gruplar bağlıdır.

Komşu (visinal) dihalojenür: halojen atomları alkenin ikili bağına çapraz bağlanır.

Kondensasyon tepkimesi: iki molekül arasından küçük bir molekülün (H_2O) gibi) ayrılmasıyla meydana gelen tepkime.

Konformasyon: bir moleküldeki atom ya da grupların farklı yönlenmeleri. Örneğin sikloheksanın kayık ve koltuk şekilleri.

Kontak yöntemi: katalizörle temas eden $SO_{2(g)}$ nin $SO_{3(g)}$ e yükseltgenmesi temeline dayanan H_2SO_4 eldesi.

Kontrol çubukları: nötron soğuran metal çubuklar (Cd gibi). Nükleer reaktörlerde nötron miktarını kontrol eder ve fisyon tepkimesini yavaşlatır.

Konum izomerleri: işlevsel grupların bir hidrokarbon zincirinde ya da halkada bağlandıkları konumların farklılığından ortaya çıkan izomerler.

Koordinasyon bileşikleri: (1) iki ya da daha fazla basit bileşiğin bir araya gelerek oluşturdukları düşünülen bileşik. (2) kompleks iyon içeren bileşik.

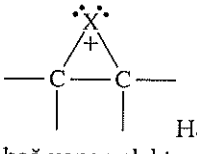
Koordinasyon sayısı: bir merkez atomunun koordinasyon küresinde, ligandların bağlanarak kompleks oluşturabilecekleri konumların sayısı.

Koordine kovalent bağ: atomlar arasındaki bağı oluşturan elektronların ikisinin de aynı atomdan geldiği kovalent bağ. Böyle bağlanmış atomlar formal yük taşırlar.

Kovalent bağ: atomlar arasında elektron ortaklaşması ile oluşan bağ. Değerlik bağ kuramına göre, kovalent bağ, atomik orbitallerin örtüştüğü bölgede bir elektron çifti ortaklaşmasıdır.

Kovalent yarıçapı: kovalent bağla bağlanmış iki atomun merkezleri arakındaki uzaklığın yarısı. Kovalent bileşikteki ilgili atomun yarıçapıdır.

Köprülü halonyum iyonu: bir halojen atomu birbirine bağlı iki karbon atomuna (köprülü) bağlıdır:



Halojen atomu, iki bağ yapan elektron çifti ve iki bağ yapmayan elektron çifti ile oktetini tamamlar ve formal yükü 1+ dir. Halojen atomu klor veya brom ise oluşan iyon kloronyum veya bromonyum iyonu olarak adlandırılır.

K_p: denge halindeki bir tersinir tepkimenin çıkış maddeleri ve ürünlerinin kısmi basınçları arasındaki ilişki. Kısmi basınçlar atm cinsindendir.

Kristal alan kuramı: bir kompleks iyondaki bağlanmayı, merkez metal iyonun çekirdeği ile ligandlar arasındaki elektrostatik çekmeyle açıklayan kuram. Bu kuram, merkez metal iyonundaki d enerji seviyesinin, elektron itmeleri nedeniyle, yarılmaya uğradığı temeline dayanır.

Kritik nokta: sıvı ile buharının ayırt edilemediği sıcaklık ve basınç. Buhar basıncı eğrisinde en yüksek sıcaklık noktasıdır.

Kuantum sayıları: dalga denkleminin çözümünde değerleri belirtilen tam sayılar. Üç çeşit kuantum sayısı gereklidir: baş kuantum sayısı, n; orbital açısal kuantum sayısı, l; magnetik kuantum sayısı, m_l. İzin verilen kuantum sayıları birbirleri ile ilişkilidir.

Kuram (teori): doğal olaylar ile ilgili açıklama ve daha ileri öngörmeler yapmaya yarayan model ya da kavram.

Kuramsal verim: bir kimyasal tepkimenin hesaplanan verimi. (Bak, gerçek verim ve yüzde verim).

Kuvvetli asit: sulu çözeltisinde tümüyle iyonlaşabilen asit.

Kuvvetli baz: sulu çözeltisinde tümüyle iyonlaşabilen baz.

Kuvvetli elektrolit: çözeltide tamamen iyonlaşan bileşik.

Kübik sıkı istiflenme: kürelerin aralarında minimum boşluk kalacak şekilde istiflenmesinin iki yolundan biri.

Küresel ısınma: Dünya yüzeyinden yayılan kızılötesi ışımayı soğuran CO_2 gibi gazların atmosferde birikmesinden dolayı Dünya'nın ısınması.

Kütle numarası, A: bir atomun çekirdeğindeki proton ve nötronların toplam sayısı:

Kütle spektrometresi: pozitif yüklü gaz iyonlarını ayırarak, her bir iyonun miktarını ve kütlesini ölçmeye yarayan cihaz.

Kütle: madde miktarı.

Kütlenin korunumu yasası: bir kimyasal tepkimeden oluşan ürünün kütlesi, tepkimeye girenlerin kütlesine eşittir.

Lantanit büzülmesi: f-orbitallerinin dolmakta olduğu element dizisindeki atom çapı küçülmesi. f-elektronlarının çekirdek yükünü perdelemesi ilkesine dayanır.

Lantanitler: 4*f*-orbitallerinin kısmen dolduğu elementler (Z = 58 – 71). Lantan (Z = 57) bunlara benzediğinden, bu grupta düşünülür.

Le Chatelier ilkesi: denge halindeki bir sistemde, çıkış maddelerinin sıcaklık, basınç ya da derişimlerini değiştiren bir etki dengeyi bozar ve sistem bu etkiyi azaltıcı yönde bir tepki göstererek yeni bir dengeye ulaşır.

Lehim: telleri ya da metal parçalarını birleştirmekte kullanılan, düşük erime noktalı alaşımlar. Genellikle Sn, Pb, Bi ve Cd gibi metaller içerirler.

Lewis asidi: (bakınız **asit**)

Lewis bazı: (bakınız **baz**).

Lewis kuramı: kimyasal bağın, belli kurallar içinde, Lewis simgeleri ve Lewis yapıları ile tanımlanması.

Lewis simgesi: bir elementin kimyasal simgesi üzerinde, değerlik elektronlarının noktalarla gösterimi.

Lewis yapısı: kimyasal bağda elektron aktarımını ya da ortaklanmasını gösteren lewis simgelerinin bileşimi.

Ligand: bir komplekste merkez atomuna bağlanan gruplar.

Lipid: polarlığı düşük çözücülerde [$CHCl_3$, CCl_4, C_6H_6 ve $(C_2H_5)_2O$ gibi] çözünebilen çeşitli doğal bileşikler (yağlar gibi).

London kuvvetleri: (bakınız **dağılma kuvvetleri.)**

Madde: uzayda yer kaplayan ve bir kütlesi olan herşey.

Manometre: bir gazın basıncını, çoğu kez açık hava basıncıyla karşılaştırarak ölçen düzenek.

Melez (hibrit) orbital: farklı enerji düzeyindeki atomik orbitallerin, bağ yapmadan önce karışarak aynı enerji düzeyine gelmesiyle oluşan orbital.

Melezleşme: farklı enerji düzeyindeki atomik orbitallerin karışarak aynı enerji düzeyindeki atom orbitallerini vermesi.

Merkez atomu: bir yapıda iki ya da daha fazla atoma bağlı atom.

Meta (*m*–) izomeri: benzen halkasında, bir C atomu ile ayrılmış sübstitüent taşıyan bileşik.

Metabolizma: bir organizmada meydana gelen kimyasal tepkimelerin tümü. Bu tepkimelerde büyük moleküller parçalanır (katabolizma) ya da küçük moleküllerden sentezlenir (anabolizma).

Metal karbonilleri: *d*-blok metallerinin merkez atomu ve CO moleküllerinin ligand olduğu kompleks, örneğin, $Ni(CO)_4$.

Metal: atomlarının en dış baş kuant tabakasındaki elektron sayısı az olan element. Metal atomundan elektronun uzaklaştırılması göreceli olarak kolaydır ve pozitif bir iyon (katyon) oluşur. Metaller genellikle dövülebilir, tel haline getirilebilir ve parlak yüzeylere sahiptirler. Isı ve elektriği iyi iletirler.

Metalik yarıçap: katı metallerde komşu iki atomun merkezleri arasındaki uzaklığın yarısı.

Milimetre civa (mmHg): genellikle gazlarda kullanılan basınç birimi. Örneğin, standart atmosfer basıncı, 760 mm Hg, civa kolonunun uyguladığı basınca eşittir.

Milimol: bir molün binde biri (0,001 mol). Titrasyon hesaplamalarında yararlıdır.

Mol kesri: bir çözeltideki herhangi bir bileşenin mol sayısının çözeltideki bütün maddelerin mol sayıları toplamına oranı.

Mol kütlesi: bir mol atom, formül birimi ya da mülekülün kütlesi.

Mol yüzdesi: mol kesrinin yüzde olarak ifadesi. Yani, mol kesri × %100.

Mol: $6{,}02214 \times 10^{23}$ (Avogadro sayısı) atom, formül birimi ya da molekül içeren miktar.

Molalite, M: çözünenin mol cinsinden, çözücünün kg cinsinden ifade edildiği bir çözelti derişim birimi.

Molar ısı kapasitesi: mol başına ısı kapasitesidir (J/°C mol).

Molekül formülü: moleküldeki atom cinslerini ve gerçek sayılarını veren formül. Bazı durumlarda molekül formülü ile empirik formül aynıdır. Bazılarında ise molekül formülünü elde etmek için, empirik formülün bir sayı ile çarpılması gerekir.

Molekül geometrisi: bir molekülün ya da çok atomlu iyonun geometrisi. Bütün elektron çiftleri bağ yapmış olan türlerde molekül geometrisi ile elektron çifti geometrisi aynıdır. Diğer türlerde ise bunlar birbirleri ile bağlantılı ama aynı değildir.

Molekül kütlesi: karbon-12 kütlesi tam 12 birim alındığında, bir molekülün buna bağlı olarak verilen molekül kütlesi.

Molekül orbital kuramı: bir moleküldeki kovalent bağların oluşumunu, atomik orbitallerin örtüşerek molekül orbitallerini oluşturduğu kabulü ile açıklayan kuram. Elektronların bu molekül orbitallerine belli kurallar içinde yerleştiği ve molekülün elektron yapısını oluşturduğu kabul edilir. Yani, molekülde yük ayrılması yoktur.

Molekül: bağımsız bir birim oluşturan, bağlı atomlar grubu.

Monosakkarit: karbonhidratların yapısal özelliğine sahip tek ve basit molekül. Basit şeker adını da alır.

Mutlak konfigürasyon: bir kiral karbon atomuna bağlı grupların düzenlenmiş şekli (D ve L gibi).

Mükemmel gaz: davranışı ideal gaz eşitliğinden öngörülebilen gaz. Moleküllerarası etkileşmeler olmaksızın gaz molekülleri "nokta kütleler"olarak ifade edilir. (ayrıca bakınız ideal gaz.)

Nernst denklemi: bir pil tepkimesinde $E_{hücre}$ ile $E^{o}_{hücre}$ ve tepken ve ürünlerin aktifliklerini içeren bağıntı.

Net iyonik eşitlik: bir çözeltide tepkimeye katılmayan iyonların eşitliğe alınmadığı tepkime denklemi. Denklem, atom ve yük olarak denkleştirilmelidir.

Net tepkime: birden fazla basamakta yürüyen işlemlerde toplam veya net değişiklik.

Nicel analiz: bileşik ve karışımların miktarlarını tayin etmeye yarayan analiz yöntemi.

Nitel katyon analizi: bir örnekte bazı katyonların var olup almadığını tayin etmeye yarayan ve çeşitli denge kavramlarına dayanan bir laboratuar yöntemi.

Noktalı-kamalı çizgili gösterimi: üç boyutlu görüntünün bir düzlemde çizilerek gösterilmesi.

Normal kaynama noktası: sıvı buhar basıncının 1 atm. olduğu sıcaklık. Bu sıcaklık, sıvının açık bir kapta ve bir atm dış basınca karşı kaynadığı sıcaklıktır.

Nötralleşme: bir asit ile bir bazın, bunlardan hiç biri artmayacak şekilde birleşmesi. Son ürün su ve bir tuzdur.

Nötron sayısı: bir atomun çekirdeğindeki nötronların sayısı. Kütle numarasından atom numarasının çıkarılmasıyla elde edilen sayılar.

Nötron: hidrojen atomu (^1H) dışındaki bütün atomlarda bulunan, elektrik yükü bakımından nötral temel madde parçacığı.

Nükleik asit: purin ve pirimidin bazları ile pentoz şekerleri ve fosforik asidin birleşmesiyle meydana gelen, hücre bileşenleri.

Nükleofil: kimyasal tepkimede pozitif yüklü merkeze saldıran bir tepken.

Nükleofilik yerdeğiştirme tepkimesi: nükleofil ile elektrofil arasındaki tepkime. Nükleofil, elektrofilin pozitif merkezine saldırır ve ayrılan grup diğer yönden uzaklaşır.

Nükleofillik: ayrılan bir grup taşıyan elektrofilik bir karbona bir nükleofilin hangi kolaylıkta (hangi hızda) saldırdığının bir ölçüsü.

Oksianyon: Cl, N, P ve S gibi ametallerle oksijenin oluşturduğu çok atomlu anyon. Bir oksiasidin nötralleştirilmesinden elde edilebilir.

Oksiasit: iyonlaşabilen hidrojen atomu ya da atomları, bir merkez atoma bağlı oksijene bağlıdır (E—O—H). Merkez atoma bağlı diğer gruplar — OH grupları ya da O atomları (bazen H atomları) olabilir.

Oktet kuralı: Lewis yapısında her bir Lewis simgelerinin (H hariç) bağ yapan ve bağ yapmayan elektron çiftlerinin toplam elektron sayısının sekiz olacağını ifade eder (oktet).

Oktet kuralı: Lewis yapısında her bir Lewis simgelerinin (H hariç) bağ yapan ve bağ yapmayan elektron çiftlerinin toplam elektron sayısının sekiz olduğunu ifade eder (oktet).

Oktet: bir atomun en dış (değerlik) elektron tabakasında sekiz elektronun bulunması.

Olefinler: bir ya da daha fazla karbon-karbon ikili bağı taşıyan organik bileşikler.

Oligosakkaritler: 2-10 arasında monosakkarit birimi içeren hidrokarbonlar.

Oluşma sabiti, K_{ol}: serbest metal iyonunun koordinasyon küresindeki H_2O moleküllerinin ligandlarla adım adım yer değiştirme denge sabitlerinin bir bileşkesidir.

Oluşum entalpisi (ısısı) (bakınız standart oluşum entalpisi).

Optik izomerler: polarize ışığı farklı yönlere çeviren izomerler.

Optik izomerlik: kiral atom içeren yapılarda ortaya çıkan bir izomerlik çeşididir. Optik izomer çiftleri birbirlerinden yalnızca polarize ışık düzlemini farklı doğrultularda çevirmeleriyle ayrılırlar (ayrıca bakınız **enantiyomerler**).

Orbital diyagramı: orbitallerin ve elektron spinlerinin belirtildiği elektron dağılımı.

Orbital: bir atomda elektron yük yoğunluğunun ya da elektronun bulunabilme olasılığının yüksek olduğu bölge. s, p, d, f, . . . gibi harfler ile simgelenen bu orbitallerin şekilleri farklıdır.

Organik bileşik: karbon ve hidrojen veya karbon, hidrojen ve az sayıda oksijen, azot veya kükürt gibi diğer elementleri içeren bileşik

Ortak iyon etkisi: dengeye katılabilen iyonlar veren bir bileşiğin denge üzerine etkisi.

Ortaklanmamış elektron çifti: bir atomun değerlik elektronları tabakasında bulunan, bağ yapmamış elektron çifti.

Ortalama bağ enerjisi: belirli bir kovalent bağ içeren farklı türlerin bağ ayrışma enerjilerinin ortalaması.

Orto (*o*–) izomeri: benzen halkasının komşu iki karbonuna iki sübstitüentin bağlanması ile oluşan izomer.

Osmotik basınç: yarı geçirgen bir zardan, daha seyreltik çözeltiden ya da saf sudan, çözücü moleküllerinin geçişini durdurmak için çözeltiye uygulanması gereken basınç.

Osmoz: daha seyreltik çözeltiden (ya da saf çözücüden) daha derişik çözeltiye doğru, bir yarı geçirgen zardan çözücü moleküllerinin net geçişi.

Örgü enerjisi: bir mol iyonik katı kristalin, gaz halindeki iyonlarından oluşması sırasında açığa çıkan enerji.

Ötrifikasyon: tatlı suda nitrat ve fosfat gibi besinlerin neden olduğu bozunma. Alglerin büyümesini, oksijenin tükenmesini ve balık ölümlerini teşvik eder.

Özellikler: bir madde örneğini diğerlerinden ayıran nitelikler.

Özgül ısı kapasitesi: bir maddenin gram başına ısı kapasitesidir (J/°C g).

Özgül ısı: bir gram maddenin sıcaklığını bir derece Celcius değiştirmek için gerekli ısı miktarı.

***p*-bloku:** periyodik çizelgede p-orbitallerinin dolmakta olduğu elementler grubu.

Para (*p*–) izomer: benzen halkasındaki karşılıklı bağlanmış iki sübstitüent içeren bileşik.

Paramanyetik: atom ya da moleküllerinde bir ya da daha fazla eşleşmemiş elektron içeren bileşik. Magnetik alandan etkilenirler.

Paskal (Pa): bir N/m^2 lik basınç

Pauli ilkesi: hiçbir elektronun kuantum numaralarının dördü de aynı olamaz. Bu ilkeye göre, aynı orbitaldeki iki elektronun spinleri zıttır.

Peptit bağı: iki amino asit molekülünden bir suyun ayrılması ile oluşan bağ. H atomu bir amino asidin NH_2 grubundan, OH grubu diğerinin COOH grubundan gelir.

Perdeleme etkisi: içteki elektronların engellemesi nedeniyle endıştaki elektronların çekirdeğin etkisini tam olarak "hissetmemesidir". Daha içteki ilektronlar çekirdek yükünün etkisini kısmen azaltırlar. (bakınız etkin çekirdek yükü).

Periyodik çizelge: benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip elementlerin dikey sıralar oluşturacak şekilde sıralanmış hali.

Periyot: periyodik çizelgenin yatay sırası. Bir periyotta bulunan bütün elementlerin atomları en dış elektron tabakalarında aynı baş kuantum numarasına sahiptirler.

Periyotlar yasası: elementler atom numaraları artacak şekilde sıralandığında, bazı fiziksel ve kimyasal özellikler periyodik olarak değişir.

Peroksit iyonu: yapısı $\left[:\ddot{O}—\ddot{O}:\right]^{2-}$ olan iyon.

pH: çözeltideki $[H_3O^+]$ nın kısa gösterimi. $pH = -\log [H_3O^+]$ şeklinde tanımlanır.

Pi (π) bağı: *p*-atomik orbitallerinin "yandan" örtüşmesiyle oluşan bağ.

Pik demiri: yüksek fırında elde edilen ve içinde safsızlıklar içeren demir (yaklaşık %95 Fe, %3 – 4 C).

Pil potansiyeli: elektrokimyasal pilde potansiyel farkı. $E_{hüc.}$ pozitifse, pil tepkimesi kendiliğindendir. $E_{hüc.}$ negatifse, pil tepkimesi kendiliğinden değildir.

Pil şeması: elektrokimyasal pilin simgesel gösterimi. Pilde tepkimeye giren maddeler, elektrotlar, çözelti derişimleri vb. belirtilir.

Pirometalurji: kuru katı materyalin yüksek sıcaklığa ısıtılması işlemini içeren metalurji. (Ayrıca bakınız **üretim metalurjisi**.)

p*K*: iyonlaşma sabitinin kısa gösterimi.
p*K* = –log *K*. Zayıf asit ve bazların kuvvetlerini karşılaştırmada p*K* oldukça yararlıdır.

Planck sabiti, *h*: bir ışık fotonunun enerjisinin frekasına oranının orantı sabiti. Değeri, 6.626×10^{-34} Js.

pOH: çözeltideki $[OH^-]$ değerinin kısa gösterimi. pOH = –log $[OH^-]$.

Polar kovalent bağ: pozitif ve negatif yük merkezlerin birbirinden ayrıldığı bağ.

Polar molekül: pozitif ve negatif yük merkezlerinin ayrıldığı molekül. Polar moleküllerin dipol momentleri vardır.

Polarlanabilirlik: bir atom ya da moleküldeki elektron bulutlarının, bir elektrik alanında, normal durumunu değiştirme özelliği, yani dipol oluşturabilmesi.

Polimorfizm: bir katının birden fazla kristal yapıda bulunması.

Polipeptit: çok sayıda amino asit molekülünün peptit bağı ile bağlanarak oluşturduğu bileşik.

Polisakkarit: 10 dan fazla monosakkarit birimi taşıyan karbonhidrat (nişasta ve selüloz gibi).

Potansiyel enerji: konum ve yerleşmeye bağlı enerji. Cisimler arasında itme ve çekme kuvvetlerinden doğan enerji.

Pozitron (β^+): radyoaktif çekirdeklerde protonun nötrona dönüşmesi ile yayılan *pozitif* elektron.

ppb (kısım/milyar): içinde bulunduğu bir ortamın bir milyarındaki kısım.

ppm (kısım/milyon): içinde bulunduğu bir ortamın bir milyonundaki kısım.

ppt (kısım/trilyon): içinde bulunduğu bir ortamın bir triyonundaki kısım.

Protein: molekül ağırlığı 10,000 ya da daha fazla olan polipeptit.

Protik çözücü: molekülleri oksijen veya azot gibi elektronegatif atomlara bağlı hidrojen atomları içerir.

Proton alıcı: Lowry-Bronsted asit-baz kuramında baz.

Proton sayısı (bakınız, atom numarası)

Proton verici: Lowry-Bronsted asit-baz kuramında asit.

Proton: pozitif elektrik yükü birimini taşıyan ve bütün atomların çekirdeğinde bulunan temel parçacıklar.

R, S sistemi: kiral bir merkeze bağlı dört grubun düzenlenmiş biçimini belirtilen ve iki optik izomerin farkının anlaşılmasını sağlayan sistem.

Rad: 1 kg madde başına 1×10^{-2} J enerji depolayabilen ışınım miktarı.

Radikal: (bakınız serbest radikal).

Radyal dalga fonksiyonu: *R(r)*, Schrödinger dalga denklemi küresel polar koordinatlarda ifade edildiğinde sadece r uzaklığına bağlı olan dalga fonksiyonunun bir kısmı (ayrıca bakınız **açısal dalga fonksiyonu**)

Radyoaktif bozunma yasası: radyoaktif bir maddenin bozunma hızı (etkinliği, A) mevcut atomların sayısı ile doğru orantılıdır.

Radyoaktif bozunma zinciri: radyoaktif bir izotopun (ör. ^{238}U) basamak basamak bozunarak, sonunda kararlı bir izotopa (ör.^{206}Pb) dönüşmesi.

Radyoaktiflik: kararsız bir atom çekirdeğinin küçük madde parçacıkları (α, β parçacıkları) ve/veya elektronagnetik ışınım (γ ışınları) vermesi olayı.

Raoult yasası: bir çözelti bileşeninin buhar basıncı, bu bileşenin mol kesri ile saf sıvısının buhar basıncı çarpımına eşittir.

Rasemik karışım: optikçe aktif bir bileşiğin D ve L izomerlerinin eşit miktarlardaki karışımı.

Rem: rad'a benzer bir ışın birimi olup, aynı enerjideki farklı ışınların biyolojik maddeler üzerindeki çeşitli etkileri gözönüne alınarak tanımlanmıştır.

Rezonans: tek bir bileşik için iki ya da daha fazla Lewis yapısının yazılabildiği durumlarda ortaya çıkan olgu. Gerçek yapı bu farklı yapıların bir bileşkesidir (*melezidir*).

Ribonükleik asit (RNA): mRNA ve tRNA diye iki şekilde bulunan ve protein sentezinde işlevi olan bileşik.

***s*-bloku:** periyodik çizelgenin bir bölümü. Elektronlar, en yüksek ana kuant tabakasındaki *s*-orbitallerine girmektedir.

Sabit oranlar yasası: bir bileşiğin bütün örnekleri aynı bileşimdedir. Yani elemenleri aynı kütle oranındadır.

Sabun: yağ asitlerinin tuzları, yani $RCOO^-Na^+$. Burada R grubu 3-21 arası C içeren bir hidrokarbon zinciridir. Sodyum ve potasyum sabunları temizlik işlerinde kullanılan başlıca sabunlardır.

Sabunlaşma: trigliseritlerin kuvvetli bir bazla hidrolizi. Ürünler gliserin ve sabundur.

Saf madde: belirli bir özelliği ve bileşimi vardır. Bütün saf maddeler, element veya bileşiklerdir.

Sağa çeviren: polarize ışığın yayılma düzlemini sağa çevirme yeteneğine sahip demektir. + ile belirtilir.

Sarkıtlar ve dikitler: $Ca(HCO_3)_2$ (suda) un yavaş bozunmasıyla oluşan ve mağaralarda görülen bir çeşit kireç taşı ($CaCO_3$) oluşumu.

Schrödinger eşitliği: hidrojen atomu elektronunun dalgasını açıklar. Schrödinger eşitliğinin çözümlerine dalga fonksiyonları denir.

Sentez gazı: CO(g) ve H_2(g) karışımıdır, genellikle kömür veya doğal gazdan elde edilir. Yakıt olarak veya organik bileşiklerin sentezinde kullanılabilir.

Serbest radikal: yüksek etkinlikte, eşleşmemiş elektron içeren molekül parçacığı.

Sert su: içinde önemli derişimde mineralin çözünmüş olduğu su. Eğer sertlik HCO_3^- ve beraberindeki katyonlardan kaynaklanıyorsa, **geçici sert su**, HCO_3^- den başka (SO_4^{2-} gibi) anyonlardan kaynaklanıyorsa **kalıcı sert su** adını alır.

Sıfır-noktası enerjisi: kuantum mekaniksel sistemde olası en düşük enerji, örneğin "bir kutuda tanecik" için $n = 1$ e karşılık gelen enerji.

Sıfırıncı mertebeden tepkime: hızı tepken derişimlerinden *bağımsız* tepkime. Derişim terimlerinin üsleri toplamı *sıfırdır*.

Sık istiflenmiş kübik kristal: küresel taneciklerin, aralarında en az boluk bırakacak ya da hiç boşluk bırakmayacak şekilde istiflenmeleri.

Sınıf: elementlerin bir sınıfı, bazen karakteristik ismi olan, periyodik çizelgede numaralandırılmış bir gruptur. Örneğin, grup 17 bir halojen sınıfıdır.

Sınırlayıcı tepken: bir tepkimede tamamen tüketilen madde. Ürün ya da ürünlerin miktarı sınırlayıcı tepkenin miktarına bağlıdır.

Sıvı yağlar: doymamış yağ asitlerini baskın olduğu trigliseritler.

Sıvı: sıvıda atom veya moleküller birbirlerine çok yakındırlar (ancak bir katıdaki kadar yakın değillerdir). Bir sıvı, belli bir hacim kaplar, fakat akabilir ve içine konduğu kabın şeklini alır.

Sigma (σ) bağı: atom orbitallerinin ya da melez atom orbitallerinin tepeden örtüşmesiyle oluşan ve bağlanan atomların çekirdeklerini bir doğru boyunca birleştiren bağ.

Sihirli sayılar: bir atomun çekirdeğine olağanüstü kararlılık sağlayan proton ve nötron sayıları.

Silikon: O-Si-O bağları içeren organosilisyum polimerleri.

Sis: kirlenmiş havanın görüş mesafesini azalttığı koşulu anlatan genel terim. Gözlerde batmaya, nefes güçlüklerine, küçük ve büyük sağlık problemlerine yol açar. (ayrıca bakınız **endüstriyel sis.**)

Sistem: termodinamik işlemde seçilen evren parçası. (Ayrıca bakınız **açık, kapalı** ve **izole** sistemler.)

Sistematik hata: ölçme cihaz ve aletlerinden kaynaklanan ve her ölçmede tekrarlanan hata. (Yani, cihazın kalibrasyonundan kaynaklanan hatalar.)

S_N1: hız belirleme basamağı tek moleküllü olan nükleofilik yerdeğiştirme tepkimesi.

S_N2: hız belirleme basamağı iki moleküllü olan nükleofilik yerdeğiştirme tepkimesi.

Sola çeviren: polarize ışığın yayılma düzlemini *sola* çevirebilen. (–) ile gösterilir.

Soy gaz: en dış ana kuant tabakasındaki elektron dağılımı ns^2np^6 olan element. (soygaz olan helyumda $1s^2$ dir).

Sönmemiş kireç: CaO bileşiğinin halk arasındaki adı.

Sönmüş kireç: kalsiyum hidroksitin, $Ca(OH)_2$ yaygın adıdır.

***sp* melez orbitali:** bir *s* ve bir *p* orbitalinin melezleşmesiyle oluşan iki orbitalden biri. İki orbital arasındaki acı 180° dir.

***sp*² melez orbitali:** bir *s* ve iki *p* orbitalinin melezleşmesiyle oluşan üç orbitalden biri. Herhangi iki orbital arasındaki açı 120° dir.

***sp*³ melez orbitali:** bir *s* ve üç *p* orbitalinin melezleşmesiyle oluşan dört orbitalden biri. Herhangi iki orbital arasındaki açı 109,5° dir (düzgün dörtyüzlü açısı).

***sp*³*d* melez orbitali:** bir *s*, üç *p* ve bir *d* orbitalinin melezleşmesiyle oluşan beş orbitalden biri. Bu beş orbital bir üçgen çiftpiramidin köşelerine doğru yönlenir.

***sp*³*d*² melez orbitali:** bir *s*, üç *p* ve iki *d* orbitalinin melezleşmesiyle oluşan altı orbitalden biri. Bu altı orbital bir düzgün sekiz yüzlünün köşelerine doğru yönlenir.

***spdf* gösterimi:** atomlarda elektron dağılımını göstermenin bir yolu. Her bir orbitalin aldığı elektron sayısı üstündis olarak yazılır. Örneğin Cl: $1s^22s^22p^63s^23p^5$.

Spektrokimyasal seri: ligandların kristal alan yarılmasındaki enerjilerine göre sıralanmış hali.

Standart elektrot potansiyeli, E^o: indirgenen ve yükseltgenen bileşiklerin standart halde bulunduğu hücrede bir elektrot üzerinde ortaya çıkan potansiyel. Listelerde verilen değerler indirgenmeye göredir. Yani standart hücre potansiyeli, standart indirgenme potansiyelidir.

Standart Gibbs enerji değişimi, ΔG^o: tepkenlerin ve ürünlerin standart hallerde bulunduğu tepkimelerdeki serbest enerji değişimi. Standart serbest enerji değişimi ile denge sabiti arasında $\Delta G^o = -RT\ln K$ bağıntısı vardır.

Standart Gibbs oluşma entalpisi, ΔG^o_{ol}: 1 mol bileşiğin, en kararlı haldeki elementlerinden, 1bar. da oluşması için gereken standart serbest enerji değişimi.

Standart hal: bir maddenin 1 bar basınç ve seçilen sıcaklıktaki hali. İdeal gaz gibi davranan saf bir gaz için, 1 bar basınç ve seçilen sıcaklıktaki hal

Standart hidrojen elektrot (SHE): Pt gibi soy bir elektrotta, H_3O^+ (a = 1) ile H_2 (g, 1 bar) arasındaki denge ile ilgili potansiyeldir. Standart hidrojen elektrot potansiyeli *keyfi* olarak tam 0 V alınır.

Standart molar entropi: bir maddenin standart halinde ve belli bir sıcaklıkta sahip olduğu mutlak entropisi.

Standart oluşum entalpisi: ΔH^o_{ol}, standart halde bir mol maddenin standart halindeki elementlerinden oluşması sırasında meydana gelen entalpi değişimi. Elementlerin bir bar basınç ve verilen sıcaklıktaki en kararlı hali seçilir.

Standart pil potansiyeli, E^o_{pil}: içindeki bütün türlerin standart halde bulunduğu bir elektrokimyasal hücrenin potansiyeli. (Ayrıca bakınız pil potansiyeli.)

Standart sıcaklık ve basınç koşulları (STP): bir gazın 0°C (273,15 K) sıcaklık ve 760 mmHg (1 atm) basıncında bulunduğu koşul.

Standart tepkime entalpisi: ΔH^o, bütün tepkenlerin ve ürünlerin standart hallerinde bulundukları bir tepkimenin entalpi değişimi.

Stereoizomerler: moleküllerde atom ve bağ tipleri aynı olduğu halde, bazı atomların uzaydaki yönlenişleri farklıdır. *Cis-trans* izomerisi bir stereoizomeri şeklidir.

Stereomerkez: asimetrik karbon atomudur.

Stokiyometri: bileşikler ve kimyasal bakımdan önemli karışımlarla ilgili nicel ölçüm ve bağıntılar.

Stokiyometrik faktör: kimyasal bir tepkimede iki türün mol miktarları ile ilgili çevirme faktörü (örneğin bir tepkenin bir ürüne, bir tepkeni diğer bir tepkene, vb.). Faktörün oluşturulmasında kullanılan sayılar stokiyometrik katsayılardır.

Stokiyometrik katsayılar: bir denklemi denkleştirmede kullanılan katsayılar.

Stokiyometrik oran: kimyasal bir tepkimede, denkleştirilmiş eşitlikteki mol oranlarıyla aynı mol oranlarında olan tepkenlerin göreceli miktarlarını ifade eder. Örneğin, $2\,H_2 + O_2 \longrightarrow 2\,H_2O$ tepkimesi için 2 mol H_2O ve 1 mol O_2 karışımı stokiyometrik orandadır, 1 mol H_2O ve 1 mol O_2 karışımı stokiyometrik oranda değildir.

Su gazı: su buharının sıcak kok kömürü üzerinden geçirilmesi ile elde edilen, içinde bir miktar yanmayan gaz (CO_2 ve N_2) bulunan, $CO_{2(g)}$ ve $H_{2(g)}$ karışımı.

Substrat: enzim-katalizli bir tepkimede enzimin etkileştiği madde. Substrat ürünlere dönüşür ve enzim tekrar kullanılır.

Suyun iyon çarpımı, K_{su}: saf suda ya da sulu çözeltide $[H_3O^+]$ ve $[OH^-]$ çarpımı. Bu çarpımın değeri sıcaklığa bağlı olup, 25 °C de $K_{su} = 1{,}0\ 10^{-14}$ dür.

Süblimleşme: moleküllerin katı halden gaz haline geçmesi.

Süperfosfat: fosfat kayalarının H_2SO_4 ile muamelesinden elde edilen $Ca(H_2PO_4)_2$ ve $CaSO_4$ karışımı.

Süperoksit: $\left[:\ddot{O}—\ddot{O}:\right]^-$ yapısındaki iyon.

Süspansiyon: kolloidlerin aksine, çökelme için yeterince büyük katı parçacıklar içeren heterojen akışkan.

Şaplar: genel formülü M(I) M(III) $(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ olan sülfatlar. M(I) ge-

nellikle alkali metal veya amonyum iyonu, ve M(III) ise Al^{3+}, Fe^{3+} veya Cr^{3+}.

Şeker: monosakkarit (basit şeker), disakkarit veya on taneye kadar monosakkarit birimi içeren oligosakkarit.

Şiddet özelliği: madde miktarından bağımsız olan özellik. Yoğunluk ve sıcaklık şiddet özelliğine birer örnektir.

Tamamlayıcı renk: toplanabilir renk karışımında beyaz rengi, çıkarılabilir renk karışımında siyah rengi oluşturmak için renk tekerleği üzerinde zıt birincil renk ile karışan bir ikincil renk

Tampon aralığı: bir tampon çözeltinin pH değerinin hemen hemen sabit kaldığı pH aralığı.

Tampon çözelti: pH değişimine karşı dirençli çözelti. Eklenen az miktarlarda asit ve bazı pH'sı neredeyse değişmeden nötralleştirebilecek bileşenlere sahiptir.

Tampon kapasitesi: bir litre tampon çözeltiye ilave edildiğinde pH değerini bir birim değiştiren kuvvetli asit ya da bazın mol sayısıdır.

Tek dişli ligand: bir komplekte bağ yapmayan bir elektron çiftini kullanarak ve yalnızca bir konumda merkez atomuna bağlanabilen ligand.

Tek moleküllü basamak: bir tepkime mekanizmasında tek bir molekülün ayrıştığı durum.

Tekli bağ: bağlı atomlar arasında bir elektron çiftinin ortaklandığı bağ.

Tekrar kristallendirme (bakınız **ayrımsal kristallendirme.**)

Temel hal: atom ve moleküllerde elektronların en düşük enerji düzeyinde olması hali.

Temel oksijen işlemi: saf olmayan demiri (pik demir) çeliğe çevirmekte kullanılan temel işlem.

Tepken (çıkış maddesi): kimyasal tepkimeye giren bileşik. Bu terim, tersinir tepkimelerdeki bütün bileşikler için de kullanılır. Fakat kimyasal bileşiğin yalnızca sol tarafındaki bileşikler için kullanıldığı da olur. (Sağ taraftaki bileşiklere ürün denir).

Tepkime ara ürünü: bir tepkime mekanizmasında her bir basit tepkime sonucunda oluşan ve bir sonraki basit tepkimede türetilen türler. Bu nedenle net tepkimede yer almazlar.

Tepkime grafiği (profili): bir kimyasal tepkimeye ait, tepkenlerin, aktiflenmiş kompleksin ve ürünlerin enerjileri yönünden grafikle gösterimi.

Tepkime hızı: tepkenlerin hangi hızda tükendiğini ya da ürünlerin hangi hızda oluştuğunu belirtir. Çoğunlukla derişimin birim zamandaki değişimini ifade eder.

Tepkime ısısı: sabit sıcaklık ve basınçtaki bir tepkimede kimyasal enerjiden ısı enerjisine (ya da tersi) çevrilen enerji miktarı. Bu değişme, kapalı sistemlerde sıcaklık değişmesi şeklindedir. Açık sistemlerde ise ısı ya çevreye verilir (ekzotermik tepkime) ya da çevreden alınır (endotermik tepkime).

Tepkime mekanizması: tepkimenin geçtiği varsayılan basamaklar. Mekanizma, net eşitliğin stokiometrisi ve hız yasası ile uyumlu olmalıdır.

Tepkime mertebesi: bir kimyasal tepkimenin hızında derişim terimlerinin üsleri. Mertebe, belli çıkış maddeleri için (A ya göre birinci dereceden, B ye göre ikinci dereceden,....) belirtilebilir. Fakat çoğu kez tepkimenin mertebesinden söz edilir ki, bu da derişim derimlerinin üsleri toplamıdır.

Tepkime oranı, Q : bir denge sabiti ifadesindeki gibi, derişim terimlerinin (veya kısmi basınçların) oranıdır, fakat genellikle *dengede olmayan* durumlarda uygulanır.

Tepkimenin anlık hızı: tepkimenin belirli bir andaki gerçek hızı. Derişim-zaman eğrisine çizilen teğetin eğiminden bulunur.

Tepkimenin ilk hızı: çıkış maddelerinin bir araya getirildiği andaki tepkime hızı.

Termit tepkimesi: bir metal oksidi (Fe_2O_3) serbest metale indirgemek için aluminyum metalinin indirgen olarak kullanıldığı indirgenme-yükseltgenme tepkimesi.

Termodinamiğin birinci yasası: enerjinin korunumu yasası: $\Delta E = q + w$.

Termodinamiğin ikinci yasası: kendiliğinden değişmenin yönünü belirtir ve bütün kendiliğinden olan değişmeler evrenin entropisini artırır.

Termodinamiğin üçüncü yasası: mutlak sıfır sıcaklığında (0 K) saf kusursuz kristallerin entropileri *sıfırdır*.

Termodinamik denge sabiti, K: denge derişimlerinin aktifliklerle ifade edildiği denge sabiti. Aktiflik yerine, seyreltik çözeltilerde molarite, ideal gazlarda atm. cinsinden kısmi basınç alınabilir. Saf katı ve sıvıların aktiflikleri 1 dir.

Ters osmoz: çözücü moleküllerinin, yarı geçirgen zardan, çözeltiden saf çözücüye doğru geçişi. Çözeltiye osmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulandığında meydana gelir.

Tersinir tepkime: çok küçük bir değişiklikle tersine çevrilebilen tepkime.

Tersinmez süreç: çevresiyle dengede olmayan sistemin bir veya daha fazla sayıda sınırlı basamakta gerçekleştiği süreç.

Tesadüfi hata: araştırmacının bir deneysel tekniği veya ölçümü yaparken yaptığı hata, sıcaklığı termometreden yanlış okuması gibi.

Titrant: titrasyon tepkimesinde büret yardımıyla kontrollü bir şekilde ilave edilen çözelti (ayrıca bakınız **titrasyon**).

Titrasyon eğrisi: titrasyonda, eklenen çöelti hacmına karşı çözelti pH'ının grafiği. Bir asit-baz titrasyonunda pH ın nasıl değiştiğini gösterir. Bu eğri, titrasyonun eşdeğerlik noktasını (dönüm noktası) saptamakta kullanılabilir.

Titrasyon: iki çözelti arasında kimyasal bir tepkime meydana getirme yöntemi olup, çözeltilerden biri diğerine kontrollu olarak (bir büret ile) ilave edilir. Titrasyonda eşdeğerlik noktasını saptamak için indikatör kullanılır.

Toprak alkali metaller: periyodik çizelgede grup 2 elementlerine verilen ad.

Torr: bir mmHg ya eşit olan basınç birimi.

***Trans*:** iki grubun, bir organik moleküldeki çift bağın zıt yanlarında, bir kare düzlemin zıt taraflarında ve bir oktahedral kompleksin merkez düzleminin alt ve üstünde olduğunu belirten geometrik izomeri terimi.

Trigliserit: gliserinin (1, 2, 3- propantriol) uzun zincirli yağ asitleriyle verdiği esterler.

Trouton kuralı: pek çok sıvının normal kaynama noktasındaki buharlaşma entropisi aynı olup 88 J $mol^{-1}K^{-1}$ dir.

Tuz etkisi: çözelti dengesinde bulunan iyonlardan farklı iyonların etkisi. Tuz etkisine farklı iyon etkisi de denir.

Tuz köprüsü: bir elektrokimyasal hücrede iki yarı hücreyi birleştirmekte kullanılan bir düzenek (bir tuz çözeltisi ile doldurulmuş

U-tüpü). Tuz köprüsü iki yarı hücre arasında iyon akımını sağlar.

Tuz: asitlerdeki hidrojen atomlarının yerine metal iyonlarının geçmesi ile oluşan iyonik bileşik. Asit ve bazların nötralleşmesi tuz oluşturur.

Uç atom: bir molekül ya da çok atomlu iyonda yalnızca farklı bir atoma bağlı herhangi bir atom.

Uyarılmış hal: bir atomda, bir veya daha fazla elektronun temel halden daha yüksek enerji seviyesine geçtiği hal (Ayrıca bakınız **temel hal**).

Üç moleküllü süreç: bir tepkime mekanizmasında üç atom ya da molekülün aynı anda çarpışması.

Üçlü (tersiyer) yapı: polipeptit zincirlerinin birbirine bağlanarak oluşturduğu üç boyutlu yapı.

Üçlü bileşik: *üç* elementten oluşur.

Üçlü kovalent bağ: bağlanan iki atom arasında *üç elektron çiftinin* ortaklaşması. Üç çizgi (≡) ile gösterilir.

Üçlü nokta: bir bileşiğin üç fazının da (katı, sıvı, gaz) dengede olduğu sıcaklık ve basınç koşulu.

Üçüncül (tersiyer) yapı: polipeptit zincirlerinin birbirine bağlanarak oluşturduğu üç boyutlu yapı.

Üçüncül karbon: başka üç karbon atomuna bağlı karbondur.

Üçüncül yapı: bir proteinin üç boyutlu yapısı.

Üretim metalurjisi: cevherden metalin ekstrakte edilmesi işlemi. Genellikle dört basamakta gerçekleşir. *Deriştirme* cevheri atık kayalardan (gang) ayırır. *Kavurma* cevheri metal oksite dönüştürür. **İndirgeme** (genellikle karbonla) oksiti metale çevirir. *Arıtma* safsızlıkları metalden uzaklaştırır.

Ürün: bir kimyasal tepkimeden oluşan bileşikler.

Van der Waals denklemi: ideal olmayan gazların hal denklemi. Moleküllerarası itme kuvvetlerini ve moleküllerin öz hacımlarını belirten düzeltme terimlerini içerir.

Van der Waals kuvvetleri: moleküller arasında London tipi kuvvetlere ve kalıcı dipollerin etkileşme kuvvetlerine (ikisinin toplamına) denir.

van der Waals yarıçapları: bir tür atom büyüklüğü ölçümü. van der Waals yarıçapları sık istiflenmiş kristallerde atom uzaklıklarını kullanarak ölçülen sert kürelerin yarıçaplarıdır.

Viskozite: sıvının akmaya karşı direnci. Büyüklüğü moleküllerarası çekim kuvvetlerine ve bazı durumlarda molekül boyutu ve şekline bağlıdır.

Volt (V): SI birim sisteminde hücre voltajı. 1 volt = 1 joule/C

Volta (galvanik pil) pili: içinde kendiliğinden yürüyen kimyasal tepkimenin elektrik ürettiği pil.

Yakıt hücresi: pil tepkimesinin bir yakıtın yanmasına dayandığı volta pili. Yakıtın kimyasal enerjisi elektrik enerjisine dönüşür.

Yan tepkime: istenmeyen veya beklenmeyen ürün oluşturan tepkime.

Yan ürünler: bir kimyasal işlemde, ana ürün yanında oluşan ürünler. Bunlar ana ürünü veren tepkimeyle ya da başka yan tepkimelerle oluşabilirler.

Yapı formülü: bir molekülde tekli, ikili veya üçlü bağlarla atomların birbirine bağlanışını gösteren bileşik formülü.

Yapı izomerleri: aynı sayıda ve türde atom içerirler fakat yapı formülleri farklıdır.

Yarı hücreler: bir elektrot ve bir çözeltiden oluşmuştur. Elektrot üzerinde indirgenme-yükseltgenme dengesi kuruludur. Bir elektrokimyasal hücre iki yarı hücreden meydana gelir.

Yarı metal: uygun koşullarda hem metal hem de ametal özelliği gösteren element.

Yarı ömür ($t_{1/2}$): tepkenin yarısı harcanıncaya değin geçen süre. Çekirdek bozunma tepkimelerinde, mevcut atomların yarısının radyoaktif bozunmaya uğrayabilmesi için geçen süre.

Yarı tepkime: net indirgenme-yükseltgenme tepkimesinde, indirgenme ya da yükseltgenme tepkimesinden biri.

Yarılma tepkimesi: aynı maddenin hem indirgenmesi hem de yükseltgenmesi.

Yavaşlatıcı (moderatör) kontrol: fizyon tepkimesinde ortaya çıkan yüksek enerjili nötronları yavaşlatarak, fizyonu azaltan madde.

Yerdeğiştirme tepkimesi: bir molekülde atom, iyon veya grup bir başkasıyla yer değiştirir.

Yoğun yapı formülü: bir yapı formülünün en basit gösterimi.

Yoğunlaşma: moleküllerin gaz halinden sıvı hale geçmesi.

Yoğunluk: bir maddenin kütlesinin hacmına bölünmesiyle elde edilen fiziksel özellik (yani, birim hacimdeki kütle).

Yük yoğunluğu, ρ: bir katyonda birim hacimdeki yük.

Yüksek-spin kompleksi: zayıf kristal alan yarılmasıyla merkez metal atomunda veya iyonda *d* alt kabuğunda eşleşmemiş elektron sayısının maksimum olduğu kompleks.

Yükseltgen: kendisi *indirgenirken* karşısındakini yükseltgeyen bileşik ya da iyon.

Yükseltgenme basamağı: bir atomun, diğer atomlarla birleşerek moleküller ya da çok atomlu iyonlar oluştururken yitirdiği, kazandığı ya da ortaklaştığı elektron sayısı.

Yükseltgenme: elektron verme (kaybetme) olayı. Atomların yükseltgenme basamağı büyür (yükseltgenme, indirgenme ile birlikte yürür).

Yüzde verim: bir kimyasal tepkimeden elde edilen ürünün, aynı tepkimeden kuramsal olarak elde edilebilecek ürün miktarına bölünerek bulunan ve yüzde ile ifade edilen miktarı.(Ayrıca bakınız **gerçek verim** ve **kuramsal verim**.)

Yüzey gerilimi: bir sıvının yüzeyini genişletmek için gerekli enerji ya da yapılması gereken iş.

Yüzey merkezli kübik (ymk): kübik birim hücrenin sekiz köşesinde ve her bir yüzeyinde bir birimin bulunduğu kristal yapı. Kürelerin kübik sık istiflenmesiyle oluşur.

Zayıf asit: sulu çözeltisinde kısmen iyonlaşan asit.

Zayıf baz: sulu çözeltisinde kısmen iyonlaşan baz.

Zayıf elektrolit: çözeltisinde kısmen iyonlaşan bileşik.

Zincir-tepkime polimerleşmesi: başlama basamağı karbon-karbon çift bağlarından birinin açılması olan tepkime. Serbest radikal ara ürününe monomer bağlanarak uzun zincirler meydana gelir. Örneğin, etilenin polietilene polimerleşmesi.

Zwitter iyon: hem asit hem de baz grupları içeren bileşik, örneğin amino asit ve polipeptit gibi. Zwitter iyonlar nötral pH da aynı anda pozitif yüklü gruplara (katyonlar) ve negatif yüklü gruplara (anyonlar) sahiptirler.

G

Ek

Kavram Değerlendirme Sorularının Yanıtları

Not: Sizin yanıtlarınız, problem çözüm basamaklarının sayısına ve ara sonuçlardaki yuvarlamalara bağlı olarak, biraz farklı olabilir.

BÖLÜM 1

Kavram Değerlendirme 1-1. Hayır, bir varsayımın öngördüğü şeye aykırı bir deneysel sonuç hipotezi reddetme nedenidir; onun ispatı değil. **1-2.** İki kefeli terazide *mg* çarpımı, *g* değerine bakmaksızın bilinmeyen ve bilinen kütle "ağırlıkları" için aynıdır. İki kefeli terazide ölçülen kütle Dünyada ve ayda aynıdır. Tek kefeli elektronik terazide ölçülen ağırlık "kütleye" çevrilir. Dünyada kalibre edilmiş böyle bir terazi ile ölçülen "kütle" ayda ölçüldüğü zaman daha az olacaktır. **1-3.** t (°C) = t (°F) alıp, t (°F) = 9/5t (°C) + 32 eşitliğini çözerseniz, t (°F) = -40 °F bulursunuz. Öyleyse; -40°F = -40°C olur. **1-4.** Odunun hacmi 1000 g/(0,68 g cm^{-3}) = 1470 cm^3. Odun kütlesi kadar suyla (1000 g) yer değiştirir bu su 1000 cm^3 hacme sahiptir. Odunun su altındaki kesri 1000/1470 = 0,68 dir. **1-5.** Her iki soruya da evet. Bir ölçüm aleti hassas okuma yapabilir, fakat yanlış kalibre edilmiş olabilir. Ölçümler birbirleriyle uyumlu olabilir, fakat ortalamaları gerçek değere uymayabilir. Doğru olmayan bir aletin ölçümleri gerçek değerden oldukça farklı çıkabilir, ancak ölçüm ortalaması şans eseri gerçek değerle uyumlu olabilir. **1-6.** 1 in = 2,54 cm bağıntısı bir tanımdır (*kesin* bir niceliktir). Metre ile inç arasındaki daha kesin bir bağıntı şöyledir: 1 m = 100 cm × (1 in/2,54 cm) = 39,370079 in.

BÖLÜM 2

Kavram Değerlendirme 2-1. Helmont, yanlış olarak, ağacın çevresiyle sadece toprak, güneş ışığı ve su sayesinde etkileştiğini kabul etmiştir. Ağaç ayrıca atmosferle yani karbon dioksit gazı ile de etkileşmektedir (bakınız fotosentez, sayfa 273). **2-2.** Magnezyum bromür ile tepkimeye girmeyen bromun toplamı olan *son* kütle, *başlangıç* kütlesine eşittir: 4,15 g+82,6 g =86,8 g, fakat tepkimeye girmeyen bromun kütlesini bilmeden magnezyum bromürün kütlesini belirleyemeyiz. **2-3.** Katot ışınlarının (elektronların) keşfi, atomların bölünemez olduğu fikrini çürütmüştür. İzotopların keşfi, bir elementin bütün atomlarının kütlelerinin aynı olduğu fikrini çürütmüştür. Atomların en basit sayısal oranda bir araya geldiği fikri geçerliliğini sürdürmektedir. **2-4.** İstisna, hidrojenin en yüksek bolluktaki izotopu, $^1_1$H, protiyum atomudur. Atom çekirdeği tek proton içerir. **2-5.** Ağırlıklı ortalama atom kütlesinin 51,9961 akb, neredeyse tam 52 akb olması, kromun neredeyse sadece $^{52}_{24}$Cr atomu olarak bulunabileceğini gösterir. Diğer olasılık (gerçekte olan) kromun, ağırlıklı ortalama atom kütlesinin 51,9961 akb olduğu izotopların bir karışımı olarak bulunduğudur. Çinkonun iki veya daha fazla izotopu olduğu sonucuna varırız. Ağırlıklı ortalama atom kütlesi, 65,409 akb, tek bir izotop kütlesini çağrıştıracak 65 akb ye oldukça uzaktır. **2-6.** Doğal olarak bulunan bütün Au atomlarının kütlesi 196,967 g Au/N_A ise, hepsi $^{197}_{79}$Au, olmalı ve hiç izotopu olmamalıdır. Hiçbir gümüş atomunun kütlesi 107,868 g Ag/N_A değilse iki veya daha fazla doğal izotopu olmak zorundadır. (Gerçekte iki izotopu vardır: $^{107}_{47}$Ag ve $^{109}_{47}$Ag.)

BÖLÜM 3

Kavram Değerlendirme 3-1. *Molekül* formülü: $C_4H_6O_4$. *Kaba* formülü aynı orana, ama daha küçük tam sayılara sahiptir: $C_2H_3O_2$. Şekil 3-2(a) da verilen bütanın *yapı* formülünü gözünüzde canlandırınız. Bütan yapısının iki ucunda yer alan $-CH_3$ grupları -COOH gruplarıyla yer değiştirir (Şekil 3-1 de verilen asetik asidin yapı formülüne bakınız). En basit *çizgisel* formül için H_2C-CH_2 yi gösteren bir çizgi çiziniz ve çizginin her iki ucuna birer açı çizerek –COOH grubu ekleyiniz. **3-2.** Diğer dört niceliği **(d)** deki 20,000 g pirinç alaşımının ağırlığı ile karşılaştırınız. **(a)** 0,50 mol O_2 = 16,00 g; en küçük kütle olabilir fakat en büyüğü olamaz. **(b)** 2,0 × 10^{23} Cu atomu = 1/3 mol Cu ≈ 21 g; bu şimdilik en büyük kütledir. **(c)** 1,0 × 10^{24} H_2O molekülü, 1,5 mol H_2O > 27 g; bu şimdilik en büyük kütledir. **(e)** 1,0 mol Ne = 20 g kütleye sahiptir. Sonuç: en büyük kütle, **(c)**; en küçük kütle, **(a)**. **3-3.** C atomu katkısı en fazla (13), ve Cl kütlesi katkısı en büyüktür. Cl atomu altı tanedir, bir Cl atomu bir C atomunun yaklaşık üç katı daha fazla kütleye sahiptir. **3-4.** Formüldeki atomların bağıl sayılarını, bileşiğin mol kütlesini elementlerin kütle yüzdeleri ile çarparak elde ediniz. Örneğin, Örnek 3-5 de, mol C = 0,6258 × 230 g × (1 mol C/12,011 g) = 11,98 mol C. Benzer şekilde 21,97 mol H ve 3,995 mol O elde edilir. Molekül formülü $C_{12}H_{22}O_4$ ve kaba formülü $C_6H_{11}O_2$ dir. **3-5.** Her bir yanmada, her mol C için 1 mol CO_2 ve her mol H için 1 mol H_2O oluşur. Her yanma için miktarlar hesaplanır: **(a)** 5 mol CO_2 ve 2 mol H_2O; **(b)** 1,25 mol CO_2 ve 2,5 mol H_2O; **(c)** 1 mol CO_2 ve 1,5 mol H_2O; **(d)** 6 mol CO_2 ve 3 mol H_2O. Dolayısıyla (d) nin cevabı olan C_6H_5OH, en fazla mol ve kütlede CO_2 ve H_2O verir. **3-6.** NH_3 de N un yükseltgenme basamağı -3 tür. N un yükseltgenme basamağın H_2NNH_2 bileşiğinde daha yüksektir ve -2 dir. N_2H_4 ün mol kütlesinin 32 g/mol olduğuna dikkat ediniz. **3-7.** Hayır. Bütün hidrokarbonlar içinde H_2O nun CO_2 ye kütle oranı en fazla CH_4 dedir. CH_4 bütün hidrokarbonlar içinde en yüksek H yüzdesine sahiptir; yandığında 1 mol CO_2 (44 g) bileşiğine karşın sadece 2 mol H_2O (36 g) oluşur.

BÖLÜM 4

Kavram Değerlendirme 4-1. (a) Ürün O_2(g) dir, O(g) değildir. **(b)** Ürün sadece O_2(g) dir, O_2(g) ve O(g) nin karışımı değildir. **(c)** Ürün KCl(k) dir, KClO(k) değildir. **4-2. (a)** yanlış (2 *mol* H_2S başına 3 mol S) **(b)** yanlış (stokiyometrik katsayılar gramı değil molü gösterir) **(c)** doğru (1 mol H_2O/1 mol H_2S ile 2 mol H_2O/2 mol H_2S aynıdır) **(d)** doğru (soldaki 3 mol S ün 2 molü, 2 mol H_2S dedir, sağdaki 3 mol S yi verir) **(e)** yanlış (3 mol tepkenden 5 mol ürün oluşur) **(f)** doğru (tepkimede hiçbir atom oluşamaz veya yok olamaz) **4-3.** Gramı başına en çok O_2(g) üreten tepkime, en düşük mol kütleli tepkene sahip olandır. Tepkimede tepkenin NH_4NO_3(k) olduğu açıktır. **4-4. (a)** Çözelti hacminin üç katına çıkarılması molariteyi başlangıç değerinin 1/3 üne düşürür: 0,050 M NaCl. **(b)** Hacmin 250 mL den 200 mL ye düşürülmesi molariteyi 5/4 oranında artırır, yani 1,000 M $C_{12}H_{22}O_{11}$ olur. **(c)** İlk çözeltinin molaritesi 1/3 oranında azalır, 0,0900 M KCl olur; ikinci çözeltinin molaritesi 2/3 oranında azalır, 0,0900 M KCl olur. Son çözeltinin toplam molaritesi 0,180 M KCl olur. **4-5.** Denkleştirilmiş eşitlik $4NH_3(g)+5O_2(g)\rightarrow 4NO(g)+6H_2O(s)$ dir. Birer mol NH_3 ve O_2 ile başlanırsa sınırlayıcı tepken O_2 dir. Ürün 0,8 mol NO ve 1,2 mol H_2O dur. Tek doğru ifade **(d)**, bütün O_2(g) nin harcandığı ifadesidir. **4-6.** Cevap aşağıdaki gerçeklerle uyumlu olmalıdır. **(1)** formülde 0,90 faktörü iki kez

yer almalı (0,90 × 0,90 = 0,81 içerebilir); (2) $CHCl_3$ ara üründür ve katılmaz; (3) ihtiyaç duyulan mol kütleleri sadece CH_4 (16 g/mol) ve CH_2Cl_2 ye (85 g/mol) aittir. Doğru yanıt (a) dır.

BÖLÜM 5

Kavram Değerlendirme 5-1. (1). (e) 0,025 M $RbNO_3$ grubun tek kuvvetli elektrolitidir. **(2). (a)** Toplam iyon derişimi 0,024 M olan kuvvetli bir elektrolit. **5-2.** Çizelge 5.1 de verilen kurallara göre, çözünenler **(a), (c)** ve **(g).** Çizelge 5.1'e göre, çözünmeyenler, (b), (e), (h) ve (i). Çizelge 5.1'e göre, (d) Li_2CO_3 çözünebilir (Li^+ grup 1 katyonudur), fakat Çizelge 5.1 de belirtilen istisnalardan biri olabilir. **(f)** Çizelge 5.1 de permanganatlar hakkında veri yoktur, dolayısıyla $Mg(MnO_4)_2$ ın çözünürlüğü belirsizdir. **5-3.** $H_2O(s)$ bileşiği $K_2CO_3(k)$ ve $ZnSO_4(k)$ için uygundur ve HCl(suda) bileşiği, CaO(k) ve $BaCO_3(k)$ için uygundur. H_2SO_4(suda) bileşiği, CaO(k) ve $BaCO_3(k)$ için uygun değildir, çünkü $CaSO_4(k)$ ve $BaSO_4(k)$ çökebilir. **5-4. (a)** da tepkime olmaz; (a) iki indirgenme yarı tepkimesidir, yükseltgenme yarı tepkimesi yoktur. **(b)** de tepkime uygun koşullarda gerçekleşir, çünkü $Cl_2(g)$ hem yükseltgenir hem de indirgenir. **5-5.** Görüldüğü gibi bu gerçekleşebilir; örneğin, yukarıda verilen değerlik yarılması tepkimesinin tersi böyle bir tepkimedir. **5-6.** Yanlış bir ifadedir. Cl^-(suda) yi $Cl_2(g)$ ye yükseltgemek için bir yükseltgen gerekir ancak ne HCl(suda) ne de NaOH(suda) yükseltgendir. **5-7.** 3,11 × 10^{-3} mol H^+ ve OH^- iyonları birbirini nötralleştirirse, tam olarak nötral NaCl(suda) oluşur.

BÖLÜM 6

Kavram Değerlendirme 6-1. Su sifonu yüksek seviyedeki bir havuzdan bir "tümsek" üzerinden geçerek düşük seviyedeki bir alıcıya su boşaltmaya yarar. Sifon başlangıçta su ile dolduktan sonra atmosfer basıncı suyu tümsek boyunca iter, ardından su serbestçe akar. Bir emme basma pompasında, hava basıncı suyu yukarıya doğru kısmen vakumlamış boru boyunca iter. **6-2. (b). 6-3. (a). 6-4.** V ve T arasındaki doğru orantı, mutlak sıcaklık eşeline dayalı olmalıdır. 100 K den 200 K e değişim V nin iki katına çıkmasına neden olur, 100°C den 200°C e değişim sadece %27 artışa neden olur: [(200+273)/(100+273)] =1,27. **6-5.** Şu gerçekleri düşününüz. **(1)** V doğrudan $O_2(g)$ nin mol sayısı ile doğru orantılıdır ve bu 60,0 g $O_2(g)$/32 g O_2 mol^{-1} olmalıdır. Sadece **(c)** ve **(d)** cevapları bunu sağlar. **(2)** STP hacimde P ve T değişiminin etkisi ürün üzerinden ifade edilmelidir [(760 mmHg/825 mmHg) × (303 K/273 K)]. Tek doğru yanıt **(d)** dir. **6-6. (a)** 0,667 L $SO_2(g)$/1,00 L $O_2(g)$, çünkü iki gaz aynı t ve P de karşılaştırıldığı sürece gerçek P ve T önemli değildir. (b) 0,667 L SO_2, T deki artış (298 K/273 K) faktörüne ve P deki azalış (760 mmHg/745 mmHg) faktörüne bağlı olup, V = 0,743 L $SO_2(g)$ gazını verir. **6-7.** Temel fikirlerden yola çıkıldığında doğru cevaplar (b) ve (e) dir. Dalton'un kısmi basınçlar yasası, P_{file} un mevcut diğer gazlardan etkilenmediğini ifade eder ve 0,50 mol (1,0 g) H_2 ilavesi toplam gaz kütlesini 1,0 g artırır, olabilecek diğer şeylerden bağımsızdır. Basit değerlendirmelerle diğer üç ifadenin yanlış olduğu gösterilebilir. **6-8.** He(g) un 1000 K deki u_{rms} değeri 250 K deki değerinin iki katıdır (eşitlik 6.20 de T, $4T$ olur). 250 K de $H_2(g)$ in u_{rms} değeri He(g) unkini $\sqrt{2}$ faktör katı kadar fazladır(eşitlik 6.20 de M, ½ M olarak değişir). Birinci durumdaki iki katı artış, ikinci durumdaki $\sqrt{2}$ katı kadarki artıştan fazladır. He(g) un 1000 K deki u_{rms} değeri $H_2(g)$ in 250 K deki u_{rms} değerinden daha büyüktür. **6-9.** Doğru cevaplar (a) ve (c) dir. Gaz moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri sadece T ye bağlıdır ve 0,50 mol He kütlesi ve 1,0 mol H_2 nin anlamlı sayıları aynı ve ikidir. **6-10.** Eşitlik (6.14), $R = MP/dT$ şeklinde düzenlenir. Mol kütleleri, P = 1 atm, T = 293,2 K ve yoğunluk verileri yerine yazılır. R nin üç değeri için çözülür ve bunların ideal gaz sabiti R = 0,08206 L atm mol^{-1} K^{-1} ye ne kadar uydukları görülür. İdeal gaz davranışına uyum artışı şöyledir: OF_2 (R = 0,0724) < NO (R = 0,08194) < O_2 (R = 0,08200).

BÖLÜM 7

Kavram Değerlendirme 7-1. Bir yer altı mağarasında dinamit patlatma işlemi izole sistem ile yaklaşık yakındır. Bir asidin bir bazla titrasyonu açık bir sistemdir. Bir buhar makinesinde tüm vanaları kapalı, buhar dolu bir silindir kapalı bir sistem oluşturur. **7-2.** Temel ilke: enerjinin korunumu yasası. Varsayımlar: Çevreye ısı kaybı olmaz, $H_2O(s)$ nun d ve özgül ısısı, T den bağımsızdır. Sıcak suyun kütlesi soğuk suyunkinin iki katı olduğu için; ilk sıcaklık farkı 60,00 °C nin; 40,00 °C ı soğuk suyun ısınması için ve 20,00°C si sıcak suyun soğuması için ayrılır; son sıcaklık T = 50,00°C. **7-3.** Bir maddenin belirli bir kütlesinin ΔT si özgül ısısı ile ters orantılıdır, dolayısıyla ΔT si küçük olan nesnenin özgül ısısı, büyüktür. İkinci soru, suyun katı ve sıvı halleri arasındaki geçiş entalpisi farkının anlaşılmasını gerektirir. Buzun erime entalpisi sıvının buharlaşma entalpisinden daha azdır, yani suyu buharlaştırmak için gereken ısı miktarı buz için olandan daha fazladır. **7-4.** Bu, tepkime ısısı bilinen bir maddenin ölçülü bir miktarının ilave edilmesiyle gerçekleştirilir. **7-5.** Bu kapalı bir sistemdir. Hacim sabit kalırken basınç düştüğüne göre, sıcaklık azalmalıdır. Sistemin iç enerjisi azalır. Bu nedenle sınır boyunca transfer olan enerji ısı şeklindedir. Enerjinin transfer yönü sistemden çevreye doğrudur. **7-6.** Balon ısınır, çünkü $NH_3(g)$ ün $H_2O(s)$ içinde çözünmesi ekzotermiktir, q < 0. Balon büzülür, çünkü atmosfer (çevre) sistem üzerine iş yapar, w > 0. **7-7.** Üst sıra boyunca nesnenin kenarları iç kısmından daha sıcakken alt sıra boyunca T aynıdır. Üst sıra boyunca ısınma tersinmezdir; süreç dengeden uzaktır. Alt sıra tersinir ısınma gösterir; ısı miktarının sadece küçük bir kısmının çıkarılması ısıtmayı soğutmaya dönüştürür. **7-8.** Entalpi bir hal fonksiyonudur. Eğer bir süreç, bir sistemi başlangıç durumuna döndürürse, H başlangıç değerine döner, yani ΔH = 0 olur. **7-9.** 1 mol $C_2H_2(g)$ nin elementlerinden oluşum entalpi değişimi üst satırda; 1 mol $C_2H_4(g)$ ünki sonraki alt satırda gösterilmiştir. Kırık çizginin üstündeki bu çizgiler ΔH = 0 olduğunu gösterir. 1 mol C_2H_6 oluşumunda ΔH < 0 dır ve kırık çizginin altındaki ilk çizgidir. Söz konusu tepkime için ΔH° birinci ve üçüncü çizgi arasındaki mesafeyle simgelenir. **7-10.** Evet, bu olmuş olabilir. Gerekli olan ilave veriler T nin bir fonksiyonu olan ısı kapasiteleridir. Yöntem Şekil 7-16 da özetlenmiştir.

BÖLÜM 8

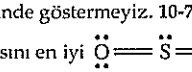
Kavram Değerlendirme 8-1. Kırmızı ışığın dalgaboyu yaklaşık 700 nm dir (bakınız Şekil 8-3). Frekans ve dalga boyu ters orantılı olduğu için ν in 2 katına çıkarsa, λ yarıya iner. Frekansı ikiye katlanan ışık 350 nm civarında bir dalgaboyuna sahip olacaktır ve yakın ultraviole bölgesindeki bu ışık insan gözü tarafından görünür değildir. **8-2.** Bilim insanları çarpışmanın yayılma spektrumlarını inceleyerek gezegenin, yani Jüpiter'in yüzeyindeki elementleri belirlemeyi ummuşlardır. **8-3.** Eşik dalgaboyu 91,2 nm dir. Kullanılan 70,0 nm lik ışık 80,0 nm ışık ile karşılaştırıldığında daha enerjili elektronlar üretir. Her bir foton bir elektron üretir ve elektronların sayısı ışığın şiddetine (fotonların sayısına) bağlıdır, dalgaboyunun eşik dalga boyundan daha az olmasını sağlar. **8-4.** n = 1 den n = 4 e geçiş en büyük ΔE ye karşılık gelir; fakat burada foton yayınlanmaz, *soğurulur.* Fotonlar diğer iki geçişte yayınlanırlar, n = 4 → n =2 geçişi en büyük ΔE ye, dolayısıyla en kısa dalgaboyuna karşılık gelir. **8-5.** Dalgaboyları aynı ise momentumlar da aynıdır (eşitlik 8.10). Fotonun hızı elektronun hızının 1/2000 i olacaktır (yani, $m_p \times u_p = m_e \times u_e$ ve $u_p = u_e \times m_e / m_p = u_e \times 1/2000$). **8-6.** n = 2 hali, kutunun her iki ucundan ¼ uzaklıkta bulunan bir pike sahiptir; bu noktalar parçacığın en yüksek bulunma olasılığına karşılık gelir. **8-7.** Üç açısal düğümü olan bir orbitalde l = 3 tür, bu f orbitalidir. Bir radyal düğüm dört düğümün toplamı yapar ve düğümlerin toplam sayısı n-1 olduğundan n değeri 5 olmalıdır. 5f orbitalidir. **8-8.** Arsenik atomdur. Temel hal orbital diyagramı, her kutuda birer tane olan aynı yöne yönlenmiş üç okla gösterilen (p'de) $4s^2 3d^{10} 4p^3$ dir. Anyonda $4p$ kutularına ters yönlenen bir tane daha ok eklenir.

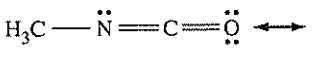
BÖLÜM 9

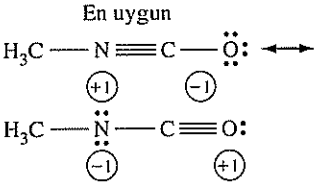
Kavram Değerlendirme 9-1. (a) Ne, **(b)** N^{3-} ya da P^{3-}, (c) Zn^{2+}, Cd^{2+} ya da Hg^{2+} **9-2.** Z_{et} artar ve artan Z ile atom yarıçapı azalır. Mavi eksen Z_{et} i ve mavi çizgi, Z_{et} i Z nin bir fonksiyonu olarak gösterir. Mavi eksen atom yarıçapını ve kırmızı çizgi atom

yarıçapını Z nin bir fonksiyonu olarak gösterir. **9-3.** **(a)** B (13. grubun en üstünde) **(b)** Cl (üçüncü periyodun sağda en sonunda) **(c)** P^{3-} 3. periyot, 15. grup (yüksek negatif yüklü bir anyonda güçlü elektron itmeleri) **(d)** Tl (13.grubun altında). **9-4.** **(a)** C (14. grubun en üstünde bulunan en küçük atomu) **(b)** Kr (18.grupta soy gaz elementi) **(c)** Se (beklendiği gibi Br dan daha düşük iyonlaşma enerjisi; aynı sebepten dolayı, sayfa 377 de P/S karşılaştırmasındaki gibi As den daha düşük iyonlaşma enerjisi). **9-5.** **(a)** 17. grup (periyotlarında en küçük atomlar) **(b)** 2. grup (dolu *ns* alt kabukları var ve ilave bir elektrona ilgileri yok) **(c)** 18. grup (soy gazların bütün kabuk ve alt kabukları doludur). **9-6.** **(a)** skandiyum (Sc^{3+} soy gaz elektron dizilişine sahiptir) **(b)** tellür (Te^{2-} soy gaz elektron dizilişine sahiptir) **(c)** mangan (Mn^{2+} soy gaz elektron dizilişine sahiptir $[Ar]3d^5$). **9-7.** **(a)** talyum **(b)** azot **(c)** rubidyum **(d)** iyot **(e)** aluminyum

BÖLÜM 10

Kavram Değerlendirme 10-1. İlk ve son simgeler geçerlidir; her biri, ikisi eşleşmemiş altı noktaya sahiptir. Geçerli olmayan simgeler yedi ve beş noktaya sahiptir. **10-2.** Bir tanesi koordine kovalent olmak üzere bütün bağlar kovalenttir. **10-3.** 14., 15. ve 16. gruplar (örneğin C, N, O, P ve S elementleri). **10-4.** **(a)** Br **(b)** Be **(c)** P. **10-5.** Eğer atomlar arasındaki bağlar, bütün bağlı atomlardan eşit katkı gerektirirse formal yük olmaz. Koordine kovalent bağın oluştuğu yerde formal yükler olacaktır. Çok atomlu bir iyonda formal yük taşıyan en az bir atom bulunmalıdır. **10-6.** İki olası Lewis yapısı yazılabilir. Bir yapıda hiç formal yük yoktur. Diğer yapıda O atomlarından birisinin (H e bağlı olan) formal yükü +1 ve diğerinin formal yükü -1 dir. Formal yükü olan yapı önemsizdir ve dolayısıyla CH_3CO_2H ın yapısını rezonans melezi şeklinde göstermeyiz. **10-7.** SO_2 molekülünün yapısını en iyi  ile gösteririz ve kükürt-oksijen bağları ikili bağlar olarak düşünmek en iyisidir. **10-8.** ICl_2^- *doğrusal* bir anyondur, I atomu etrafında beş elektron çifti vardır (AX_2E_3). ICl_2^+ *açısal* bir katyondur; I atomu etrafında dört elektron çifti vardır (AX_2E_2). Bir elektron çifti farkı tamamen farklı elektron grubu geometrisine ve geometrik biçime yol açmaktadır.





En az uygun

10-10. NH_3 deki N üzerinde bulunan ortaklanmamış elektron çifti elektron yoğunluğunu H atomlarından çeker, büyük bir dipol moment oluşur. NF_3 deki oldukça elektronegatif F atomları N atomundan elektron çekerler. N üzerinde bulunan ortaklanmamış elektron çiftine karşın oldukça polar N-F bağları oluşur ve dipol moment N üzerindeki elektronlara zıt yönde olduğundan, net olarak büyük ölçüde azalır. **10-11.** Hem doğrusal NO_2^+ katyonu hem de açısal NO_2^- anyonu N-O bağlarında ikili bağ karakteri gösteren rezonansı gerektirir. Ancak NO_2^+ katyonundaki elektronlar merkezdeki pozitif yük tarafından daha sıkı tutulurlar, dolayısıyla NO_2^+ daki N-O bağı, NO_2^- dekinden daha kısadır.

BÖLÜM 11

Kavram Değerlendirme 11-1. CH_3^+ katyonu BH_3 ile izoelektroniktir ve C atomu etrafında üç elektron çifti vardır; sp^2 melezleşmesi beklenir. CH_3^- anyonunda CH_4 de olduğu gibi sp^3 melezleşmesinden beklenen dört elektron çifti vardır. **11-2.** sp^3d^2 melezleşme şeması, merkez atom etrafında altı elektron çiftine karşılık gelir. PF_5 e benzeyen AsF_5 in oluşmasını bekleriz. Şimdi AsF_5 e F^- eklersek, As atomu etrafında 6 elektron çifti bulunur ve sp^3d^2 melezleşmesine sahip $[AsF_6]^-$ oluşur.**11-3.** sp^3d melezleşmesinde beş bağ elektron grubu vardır; fakat düzenlenme üçgen bipiramit olacaktır. AX_5E türünde sp^3d^2 melezleşmesi vardır. Ortaklanmamış elektron çiftleri sekizyüzlünün bir köşesine yönlenir ve kalan beş konum kare piramit molekül geometrisini oluşturur. **11-4.** N atomlarının oktetlerini tamamlamak için ortaklanmamış bir elektron çifti olmalıdır, birbirleriyle ikili bağ oluşturur ve tekli bağla bir H atomuna bağlanır. N atomlarının melezleşmesi sp^2 dir. **11-5.** H_2^+ iyonu, H_2 den bir elektronun uzaklaştırılması ile oluşur ve H_2 nin bir σ_{1s} elektronunun σ_{1s}^* MO ya geçişinden daha yüksek enerji ister. Diğer taraftan H_2^+ nın bağ derecesi 0,5 ve H_2 nin uyarılmış halinin bağ derecesi 0 dır. H_2^+ kararlı bir türdür ve H_2 nin uyarılmış hali kararlı değildir. **11-6.** Hayır. Örneğin C_2 deki ikili bağ iki π bağından oluşur, σ bağından oluşmaz (bakınız Şekil 11-26). **11-7.** NeO molekülü F_2 ile izoelekroniktir ve bağ derecesi bir olmalıdır. Kararlı olmasını bekleriz; fakat hiç gözlenmemiştir. **11-8.** HCO^- iyonunda da, tıpkı ozonda olduğu gibi, π bağlanmayı üç atom *p* orbitali sağlar. NO_3^- anyonunda dört atom *p* orbitali sağlar. HCO^- deki delokalize π bağlanma NO_3^- dekinden farklıdır. **11-9.** 13. ve 15. gruplardaki iki elementin bir bileşiği olan GaN bir yarı iletkendir; Bu bileşik Si ve Ge gibi 14. grup yarı iletkenleri ile eşdeğerdir.

BÖLÜM 12

Kavram Değerlendirme 12-1. Moleküller arası etkileşimler hem London kuvvetleri hem de hidrojen bağlarıdır. Küçük moleküllü bileşiklerde genellikle hidrojen bağı baskındır. **12-2.** Bilye 10W yağ içinde daha hızlı düştüğüne göre, 10W yağ, 40W yağdan daha az viskozdur. Viskozite, *T* ile ters orantılıdır ve düşük sıcaklık kullanımları için düşük ağırlıklı yağ (10W) tercih edilir (yüksek ağırlıklı yağlar katılaşabilir). Sıcak çöl bölgelerinde yüksek ağırlıklı yağlar (40W) tercih edilir; çünkü düşük ağırlıklı yağlar yağlama özelliklerini kaybedecek kadar akıcı hale gelebilirler. Moleküller arası kuvvetlerin gücü doğrudan viskoziteyle ilişkilidir ve daha yüksek viskoz 40W yağında daha güçlü moleküller arası kuvvetler vardır. **12-3.** Kara ile çevrili dağlık İsviçre ve deniz seviyesindeki Manhattan adası arasındaki yükseklik farkı (ve barometre basıncı) nedeniyle düşük kaynama sıcaklığı uzun pişirme süresiyle sonuçlanır. **12-4.** NH_3 de hidrojen bağı vardır, N_2 de ise yoktur. Bunun sonucu olarak NH_3 da N_2 den daha kuvvetli moleküller arası çekim vardır, dolayısıyla NH_3, N_2 den daha düşük buhar basıncına, daha yüksek kaynama noktasına ve daha yüksek kritik sıcaklığa sahiptir. **12-5.** CCl_4 deki elektron sayısının fazla olması (daha büyük mol kütlesi) nedeniyle moleküller arası etkileşimler (London dağılma kuvvetleri), $CHCl_3$ deki polar bağların etkisine baskın çıkar. **12-6.** Çiğ, $H_2O(g)$ nun $H_2O(s)$ ya yoğunlaşmasında oluşur ve $H_2O(g)$ nun $H_2O(k)$ olarak kırağılaşmasında donar. Her iki süreç de ekzotermiktir ve çevreye ısı verirler; don oluşumunda daha fazla ısı verilir, çünkü ΔH(kırağılaşma) = ΔH(yoğunlaşma) + ΔH(donma) dır. **12-7.** Islak kitaplar soğuk bir vakum odasına yerleştirilir. Kitaplardaki nem donar ve oluşan buz $H_2O(g)$ ya süblime olur. Bu süreç ısınmayı önler ve hasarlı kitapların korunmasını sağlar. **12-8.** Bragg eşitliğine, $n\lambda = 2d \sin\theta$, göre, kırılan dalganın fazladan aldığı yolun ($2d \sin\theta$), *n* ikiye katlandığında sabit kalması için dalgaboyu yarıya inmelidir, $2n(\lambda/2) = n\lambda$. Gerekli çarpan ½ dir. **12-9.** Yüzey merkezli kübik birim hücre 4 tane C_{60} molekülü içerir. Birim hücre, 12 K atomu tarafından işgal edilen dört tane sekizyüzlü ve sekiz tane dörtyüzlü boşluğa sahiptir. Birim hücreye dayanan formül $K_{12}(C_{60})_4$ ve molekül formülü $K_3(C_{60})$ dır.

BÖLÜM 13

Kavram Değerlendirme 13-1. $3{,}011 \times 10^{23}$. **13-2.** Derişimler sadece kütleye dayandırıldıysa sıcaklıktan bağımsızdır veya sıcaklıktan bağımsız özellikler kütle ile ilgilidir, özellikle kütle yüzdesi, molalite, mol kesri ve mol yüzdesi. Hacme dayalı derişimler -hacim yüzdesi ve molarite- sıcaklığa bağlıdır. **13-3.** HCl, $C_6H_6(s)$ içinde iyonlaşmaz ve HCl in $C_6H_6(s)$ içindeki derişimi çözelti üzerindeki $P_{HCl(g)}$ ile doğrudan ilişkilidir. Diğer taraftan HCl(g), $H_2O(s)$ ile tepkimeye girerek H_3O^+(suda) ve Cl^-(suda) oluşturur. $P_{HCl(g)}$ ile iyonların sulu çözeltilerdeki derişimleri arasındaki ilişki çok daha karmaşıktır. **13-4.** $(P_A^\circ - P_A)/P_A^\circ = X_B$ ile başlayınız. $(P_A^\circ - P_A)/P_A^\circ = 1-(P_A/P_A^\circ)$ dır. Raoult yasasına göre $P_A = x_A P_A^\circ$ yani $P_A/P_A^\circ = x_A$ olur. Böylece $1 - x_A = x_B$ ifadesine ulaşırız.

13-5. İdeal bir çözeltide her iki bileşen de aynı buhar basıncına sahipse böyle bir

durum ortaya çıkacaktır. Çözeltinin buhar basıncı çözelti bileşiminden bağımsızdır ve bu çizgi, bileşim eksenine paralel olacaktır. Bu olayın olasılığı çok büyük değildir, buna rağmen iki sıvının buhar basıncı eğrisinin kesiştiği belli bir sıcaklıkta bu bulunabilir. **13-6.** İki farklı çözeltide su, daha seyreltikten daha derişik çözeltiye doğru taşınır ve iki çözelti aynı derişime sahip olana kadar bu süreç devam eder. Başlıca fark, suyun Şekil 13-16a da buhar fazı ile ve Şekil 13-17 de yarı geçirgen bir zar yoluyla taşınmasıdır. **13-7.** Eğer Şekil 13-19 başka çözücüler yerine suya göre çizilseydi, iki erime eğrisi pozitif değil *negatif* eğime sahip olurdu. Ancak hala bir donma noktası alçalması ve bir kaynama noktası yükselmesi olacaktır. **13-8.** Donma noktasını -21°C a düşürecek kadar NaCl varsa, NaCl(suda) doygundur. Bu noktanın ötesinde çözünen eklendiğinde NaCl(suda) çözünmeden kalır ve çözeltinin donma noktasına herhangi bir etkisi olmaz.

BÖLÜM 14

Kavram Değerlendirme 14-1. $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ tepkimesinde N_2 nin harcanma hızı ile karşılaştırılırsa H_2 nin harcanma hızı üç kat daha büyüktür ve NH_3 ün oluşum hızı iki kat daha büyüktür. **14-2.** Tepkimenin başlangıç ve anlık hızları başlangıçta eşitse ve tepkime boyunca korunuyorsa derişim-zaman grafiği Şekil 14-3 de görüldüğü gibi negatif eğimli doğrusal bir çizgi olmalıdır. **14-3.** Eğer tepkime birinci derecedense başlangıç hızı iki katına çıkar ve eğer tepkime ikinci derecedense dört katına çıkar. Buna göre $1 <$ derece $(m) < 2$ dir. Daha doğrusu, $2^m = 2{,}83$ ve $m = 1{,}50$ (eşitlik m için çözülür; $m \log 2 = \log 2{,}83$). **14-4.** Dört grafik de aynı kağıda çizilebilir. Örneğin, $[A]_0 = 3{,}0$ M ve iki hız sabitinden büyüğü $k = 0{,}20\ s^{-1}$ ve küçüğü $k = 0{,}10\ s^{-1}$ alınır. Her iki derişimin zamana karşı grafiği Şekil 14-5 dekine benzerdir; fakat $[A]_0 = 3{,}0$ M olan başlangıç noktasından sonra k sı büyük olanın yarı ömrü daha kısa olacak ve diğerinden daha çabuk azalacaktır. $\ln k$ nın t ye karşı iki grafiği de doğrusaldır ve her ikisi de $\ln[A]_0 = \ln 3{,}0 = 1{,}10$ dan başlar, negatif eğime sahiptir ve k nın büyük değerleri için daha dik eğime sahiptirler.**14-5. (a)** Grafik doğrusal ise tepkime sıfırıncı dereceden olacaktır. **(b)** Ard arda gelen yarı ömürlere bakınız. $t_{1/2}$ sabitse tepkime birinci derecedendir. **(c)** Ard arda gelen yarı ömürlere bakınız. $t_{1/2}$ her seferinde iki katı oluyorsa tepkime ikinci derecedendir. **14-6. (a)** Bu koşul var olabilir. Tepkime ekzotermiktir (Şekil 14-10 dakine benzer). **(b)** Bu durum var olabilir. Tepkime endotermiktir (Şekil 14-10 daki tepkime profilinin soldan sağa doğru çevrildiğini düşününüz). **(c)** Bu durum var olamaz; ekzotermik bir tepkimenin E_a sı, ΔH dan daha küçük olamaz. **(d)** Bu durum var olabilir. Tek farklılığı tepkime ısısının olmamasıdır. **(e)** Bu durum var olamaz; E_a negatif olamaz. **14-7.** Şekil 14-12 deki eşitliği göz önüne alınız: $E_a = R \times$ ($\ln k$ nın $1/T$ ye karşı eksi eğimi). E_a ne kadar büyükse, grafiğin eğimi o kadar büyüktür ve tepkime hız değişimi sıcaklıkla o kadar artar. **14-8.** Anlamlar aynı değildir. Tepkime hızının katalizör ile artması büyük bir olasılıkla, tepkime enerji engelini düşürerek farklı bir tepkime mekanizmasına neden olan bir katalizörün varlığından kaynaklanır. Tepkime hızının sıcaklıkla artma nedeni ise sıcaklık arttıkça moleküllerin kinetik enerjisinin eşik enerjisinden büyük olması ve molekül çarpışmalarının birim zamanda artmasıdır.

BÖLÜM 15

Kavram Değerlendirme 15-1. (a) çözünürlük-faz dengesini temsil eder; **(b)** faz dengesi; **(c)** kimyasal denge.

15-2. $$Q = \frac{a_{Cu^{2+}(suda)} a_{H_2(g)}}{a_{Cu(s)} a_{H^+(suda)}^2} \approx \frac{[Cu^{2+}] P_{H_2}}{[H^+]^2}$$

15-3. $K = [B]/[A]$ ifadesinde, $[B] = 54 - [A]$ ve verilen K değeri yerine yazılır; [A] ve [B] için çözülür. $K = 0{,}02$ ise [A] (açık daireler) = 53 ve [B] (dolu daireler) = 1 olur. $K = 0{,}5$ ise [A] = 36 ve [B] = 18 olur. $K = 1$ ise [A] = [B] = 27 olur. **15-4.** İkinci tepkime için $K > 1$ ise 1. tepkime için K değeri ikiden büyük olur; fakat 2. tepkime için $K < 1$ ise, 1. tepkimenin K değeri ikiden küçük olur. **15-5.** Verilen eşitlik ters çevrilir (K değeri ters çevrilir). Bu eşitliğe $CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g)$ eklenir; CO(g) götürür ve elde edilen net tepkime aradığımızdır; K değeri diğer iki K değerinin oranıdır. **15-6.** Denkleştirilmiş eşitlik tamamlanmaya giden bir tepkimenin sonucunu belirlemek için yeterlidir. Tepkime tersinirse ve dengeye ulaşıyorsa K değeri de gereklidir. **15-7. (a)** yanlış: $CO_2(g)$ ve $H_2O(g)$ nun tamamen harcanması gerekecektir. $K_p = 10{,}0$ ile bu mümkün değildir. **(b)** yanlış: kütlenin korunumu yasası ihlal edilirdi. **(c)** yanlış: $CO_2(g)$ nin bir kısmının harcanması gerekecektir; fakat net değişim yönü ileri tepkime yönünde olacaktır. **(d)** doğru: ileri yönde net bir değişim olacaktır. **(e)** yanlış: denge karışımının bileşimini hesaplamak için yeterli veri verilmiştir. **15-8.** İnert gaz ilave edildiği için basınç artmakla birlikte, tepkime kabının hacmi azaldığı için tepkime sağa kayar. **15-9. (a)** Doğru; $H_2S(g)$ ve $CH_4(g)$ harcandığında daha fazla $H_2(g)$ oluşur. **(b)** Yanlış; inert bir gazın sabit hacim denge durumuna etkisi yoktur. **(c)** Doğru; K ve denge karışımının bileşimi T ile değişir. **(d)** Belirsiz; $H_2S(g)$ ve $CH_4(g)$ ün kısmi basınçları artar, çünkü net tepkime sola doğru olur, fakat $CS_2(g)$ ve $H_2(g)$ nin kısmi basınçlarındaki artıştan dolayı bu iki gazın küçük bir hacim içine zorlanması en azından dengenin kısmen sola doğru kaymasına neden olacaktır. **15-10.** Denge ileri yöne kayar, endotermik tepkime. Beher tutan B öğrencisi, tepkime karışımına ısı akışını uyarır, muhtemelen ürünün daha yüksek verimle elde edilmesini sağlar.

BÖLÜM 16

Kavram Değerlendirme 16-1. (a) eşlenik asit/baz çiftidir; HCO_3^- baza (örneğin OH^-) bir proton verir, CO_3^{2-} oluşur ve CO_3^{2-} bir asitle (örneğin H_3O^+) HCO_3^- oluşturur. **(b)** eşlenik asit/baz çifti değildir; SO_4^{2-} iyonu HSO_3^- den asit-baz tepkimesi ile değil, sadece yükseltgenmesi ile elde edilir. **(c)** eşlenik asit-baz çifti değildir; ilişkisi olmayan asit çiftidir. **(d)** evet **(e)** hayır. **16-2.** pH = $\log[H_3O^+]$ ile bir çok çözelti negatif pH değerlerine sahip olacaktır. pH tanımına eksi işaretini dahil etmek bu yüzden daha uygundur. pH ile bilimsel gösterimde kullanılan 10 un kuvvetleri arasındaki bağıntı pH = $-\ln[H_3O^+]$ gösterimi kullanılsaydı tamamen kaybolacaktı. (pH kavramının bu şekilde tasarlanma nedeni budur). **16-3.** Zayıf bir asidin derişik çözeltisi çoğu kez kuvvetli bir asidin seyreltik çözeltisinden daha düşük bir pH ya sahip olur. Örneğin, Örnek 16-6 da pH = 2,89 olan 1,10 M $HC_2H_3O_2$ nin pH sı 0,0010 M HCl den daha düşüktür. **16-4.** $K_a = 7{,}2 \times 10^{-4}$ etiketli şişe daha asidik çözeltiyi içerir. $K_a = 1{,}9 \times 10^{-4}$ etiketli şişe pK_a sı daha büyük olan asidi içerir. İlgili eşitlik: $^+NH_3CH_2CH_2NH_3^+(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O(suda) + NH_2CH_2CH_2NH_3^+(suda)$ $pK_1 = 6{,}85$ ve $NH_2CH_2CH_2NH_3^+(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + NH_2CH_2CH_2NH_2$ $pK_2 = 9{,}92$. Eşitlik (16.18) den baz iyonlaşma sabitlerinin değerleri $pK_{b1} = 14{,}00 - 9{,}92 = 4{,}08$ ve $pK_{b_2} = 14{,}00 - 6{,}85 = 7{,}15$ dir. Baz iyonlaşma tepkimeleri $NH_2CH_2CH_2NH_2(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_2CH_2CH_2NH_3^+(suda) + OH^-(suda)$ $pK_{b_1} = 4{,}08$ ve $NH_2CH_2CH_2NH_3^+(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons {}^+NH_3CH_2CH_2NH_3^+(suda) + OH^-(suda)$ $pK_{b_2} = 7{,}15$ $^+NH_3CH(CH_3)COOH + H_2O \rightleftharpoons {}^+NH_3CH(CH_3)COO^- + H_3O$ $pK_a = 2{,}34$ $^+NH_3CH(CH_3)COO^- + H_2O \rightleftharpoons NH_2CH(CH_3)COO^- + H_3O$ $pK_a = 9{,}87$

$pK_{b_1} = 14{,}00 - 2{,}63 = 11{,}37$

$pK_{b_2} = 14{,}00 - 9{,}87 = 4{,}13$

$NH_2CH(CH_3)COO^- + H_2O \rightleftharpoons {}^+NH_2CH(CH_3)COO^- + OH^-$ $pK_{b_1} = 4{,}13$

$^+NH_2CH(CH_3)COO^- + H_2O \rightleftharpoons {}^+NH_2CH(CH_3)COOH + OH^-$ $pK_{b_1} = 11{,}37$

16-6. Asit olarak davranabilen HPO_4^{2-} ü düşününüz: $HPO_4^{2-}(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O(suda) + PO_4^{3-}(suda)$, $K_a = 4{,}2 \times 10^{-13}$ veya baz olarak davranan HPO_4^{2-} yi düşününüz: $HPO_4^{2-}(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_2PO_4^{3-} + OH^-(suda)$ $K_b = K_{su}/K_a = 1{,}00 \times 10^{-14}/4{,}2 \times 10^{-13} = 2{,}4 \times 10^{-2}$. K_b, K_a dan çok daha büyük olduğu için HPO_4^{2-} baziktir. Aynı yolla $H_2PO_4^-$ ün de asidik olduğu görülür. Dolayısıyla K değerlerine bağlı olarak, sulu çözeltideki iyonlar asidikten nötrale ve baziğe kadar değişen pH değerlerine sahip olabilir. **16-7.** Cl atomunun elektron çekme etkisinden dolayı *orto*-klorfenolün pK_a sının fenolünkinden daha küçük olmasını bekleriz (orto-klorfenolün pK_a sı 8,55 fenolünki 10,00 dur). **16-8.** Üzerinde bir elektron çifti bulunan Fe(III) atomuna tekli bağlarla üç brom atomu bağlayınız: Br_3Fe: Şimdi bir Br_2 molekülünün Br^+ ve Br^- iyonlarına ayrıştığını hayal ediniz.

Elektron eksikliği olan Br^+ (bir Lewis asidi), Fe(III) ün (bir Lewis bazı) ortaklanmamış elektron çiftine bağlanır ve $[FeBr_4]^+$ oluşur. Son ürün $[FeBr_4]^+Br^-$ dir.

BÖLÜM 17

Kavram Değerlendirme 17-1. **(a)** hayır; NH_4Cl ortak iyon etkisi yoluyla pH yı düşürür. **(b)** evet, ama sadece biraz. Dietilamin NH_3 den biraz daha kuvvetli bir bazdır; fakat sadece oldukça küçük miktarda ilave edilir. **(c)** hayır; HCl asiti NH_3 ün bir kısmını nötralleştirecek kadar kuvvetli bir asittir, NH_3 ve NH_4Cl nin sulu çözeltisini oluştururlar. **(d)** hayır; eklenen NH_3(suda) 0,10 M NH_3(suda) dan çok daha seyreltik olduğu için net çözelti 0,075 M NH_3(suda) olur. **(e)** evet; $Ca(OH)_2$ kuvvetli bir bazdır. **17-2.** 1: 2 oranında benzoik asit/ benzoat. **17-3.** **(a)** Sarı; düşük pH. **(b)** sarı; CH_3COOH/CH_3COO^- tampon çözeltisi oluşur; fakat pH sı yaklaşık 5 dir. **(c)** sarı; tampon, ilave edilen az miktardaki OH^- ın tamamını nötralleştirir **(d)** kırmızı; tampon kapasitesi aşılır ve çözelti bazik olur. **17-4.** **(c)** şıkkı doğrudur; 0,60 mol $NaCH_3COO$ bütün HCl asitini CH_3COOH e dönüştürür, pH ≈ 4 olan $CH_3COOH/NaCH_3COO$ tampon çözelti oluşur. **(a)** ve **(b)** şıklarının pH üzerinde etkisi yoktur, **(d)** şıkkı asidin %80 ini nötralleştirir, ancak kalan kuvvetli asitten dolayı pH ≈ 1 olur. **17-5.** Bu, iki basamakta iyonlaşan bir zayıf bazın titrasyonudur. Titrasyon eğrisi orta derecede yüksek pH dan başlar, titrasyon esnasında pH düşer ve iki eşdeğerlik noktası olur. Genel olarak eğri, Şekil 17-13 dekine benzer; fakat en alttan en üste döner. İki tampon bölgesi ve pH = pK_b değerleri, iki eşdeğerlik noktası arasındaki eğrinin bölümleri olacaktır. **17-6.** **(a)** altı tür; K^+, H_3O^+, I^-, CH_3COO^-, OH^-, CH_3COOH. **(b)** en bol, K^+ (en yüksek derişimdeki gözlemci iyon); ikinci en bol, CH_3COO^- (CH_3COOH ın ¾ ünün nötralleşmesiyle oluşur) **(c)** en az bollukta, OH^- (son çözelti asidiktir yani $[OH^-] < 10^{-7}$ M); ikinci en az bollukta, H_3O^+ (son çözelti pH ≈ 5 olan tampondur).

BÖLÜM 18

Kavram Değerlendirme 18-1. MgF_2(k) çok aşırı olduğundan, hacmi iki katına çıkarılsa bile çözelti doymuş olarak kalır. $[Mg^{2+}]$ sabit kalır. **18-2.** CaF_2 ve AgCl için sırasıyla $K_{çç}$ = $5,3 \times 10^{-9}$ ve $K_{çç} = 1,8 \times 10^{-10}$ dur ve ikisi de çözünmez. Çizelgelerde $CaCl_2$ ve AgF için $K_{çç}$ değeri verilmediğine göre, çözünür bileşikler olduklarını kabul edebiliriz. **18-3.** Bu büyük oranda önemsizdir. Gerekli olan tek şey $AgNO_3$(suda) nın çökmeyi sağlayacak kadar derişik olması ve böylece çökmeyi seyrelme ile engellemesidir. **18-4.** CaF_2 nin çözünürlüğünü fazla etkiler. F^- nin oluşumu zayıf asit HF den ileri gelir, dolayısıyla hidroliz olur ve dengesi asit veya baz ilavesiyle değişebilir. **18-5.** **(a)** pH = 10,00, $[OH^-] = 1,0 \times 10^{-4}$ M ve $[Mg^{2+}] = 1,8 \times 10^{-3}$ M, tamamen mantıklı bir sonuçtur. **(b)** pH = 5,00 de $[OH^-] = 1 \times 10^{-9}$ M ve $[Mg^{2+}] = 1,8 \times 10^{7}$ M, olanaksız bir sonuçtur. Burada pH =5,00 de çözelti bir $Mg(OH)_2$ olamaz. Bu $MgCl_2$(suda) dir ve çözeltideki $[Mg^{2+}]$, $MgCl_2$ nin çözünürlüğüne bağlıdır. **18-6.** Beklendiği gibi, $[Cl^-] = 0,0039$ M, AgCl(k) nin molar çözünürlüğü ortak iyon etkisinden dolayı saf sudakinden daha azdır. Cl^-(suda) nın yüksek derişimlerinde kompleks iyon oluşumundan dolayı AgCl(k) daha fazla çözünür: AgCl(k) + Cl^-(suda) ⟶ $[AgCl_2]^-$(suda). **18-7.** Pb^{2+} vardır; çünkü sarı renkli $PbCrO_4$(k) oluşur; Hg_2^{2+}(suda) yoktur; çünkü iyon testi negatiftir; Ag^+ iyonunun varlığı belirsizdir; çünkü bunun için test yapılmamıştır. **18-8.** Çözeltide $Pb(OH)_3^-$ oluşumu göz önüne alınmalıdır, $K_{ol} = 3,8 \times 10^{14}$. **18-9.** İşe yaramaz; çünkü iki iyon da çöker: $(NH_4)_2CO_3$, H_2S(suda) ve NaOH(suda); işe yaramaz çünkü hiçbir iyon çökmez: HNO_3(suda) ve NH_3(suda). HCl(suda) işe yarar; çünkü $CuCl_2$ suda çözünür, AgCl çözünmez.

BÖLÜM 19

Kavram Değerlendirme 19-1. Hayır, istemli ve istemsiz sözcükleri termodinamik süreçle ilgilidir, kinetik süreçle ilgili değildir. İstemsiz bir tepkime bir dış etki olmadan gerçekleşmez. İstemli bir tepkime hızlı olmak zorunda değildir, çok yavaş gerçekleşebilir. **19-2.** Şekil 19-1 deki gazın hacminin iki katına çıkması, Şekil 19-3a daki kutunun uzunluğunun L den $2L$ ye, yani iki katına çıkmasına eşdeğerdir. Şekil 19-1 deki gazın genleşmesi bütün hacmi doldurma eğiliminden ileri gelir. Gerçi gaz genleşmesi, sistemin enerjisinin $2L$ kutusunda L kutusuna göre daha fazla enerji seviyesine dağılma olanağına sahip olmasıyla da açıklanabilir. **19-3.** T nin bir fonksiyonu olarak ΔH, negatif enerji bölgesinde sadece hafif bir eğimi (pozitif veya negatif) olan düz bir çizgidir. Aynı enerji bölgesinde $T\Delta S$ çizgisi aşırı negatif eğime sahiptir ve ΔH çizgisi ile kesişir. İki çizgi arasındaki mesafe ($\Delta H - T\Delta S$), ΔG yi gösterir. Kesim noktasında $\Delta G = 0$, kesim noktasının altındaki T de $\Delta G < 0$ ve kesim noktasının üstündeki T de $\Delta G > 0$ dır. **19-4.** $G^o = 326,4$ kJ mol^{-1} demek, 3 mol O_2 nin 2 mol O_3 e dönüştüğünde sistemin Gibbs serbest enerji değişimi 326,4 kJ demektir. 1,75 mol O_2 tepkimeye girerse sistemin Gibbs serbest enerji değişimi (326,4 kJ/3 mol O_2) × (1,75 mol O_2) = 190,4 kJ olur. **19-5.** Şekil 19-9 da görüldüğü gibi, H_2O(s, 1 atm) ⟺ H_2O(g, 1 atm) süreci için $\Delta H > 0$ ve $\Delta S > 0$ dır. 100°C un altında H_2O(g, 1 atm) nun yoğunlaşması beklenir ve 100°C da (normal kaynama noktası) yoğunlaşma ve buharlaşma dengededir ve $\Delta G = 0$ dır. 120°C da buharlaşma baskındır, $\Delta G < 0$ ve $T\Delta S > \Delta H$ dır.

BÖLÜM 20

Kavram Değerlendirme 20-1. Anotta Zn(k), Zn^{2+} ya yükseltgenir; yük denkliği için NO_3^-(suda) tuz köprüsünden göçer. Katotta, Cu^{2+}(suda), Cu(k) ya indirgenir, yük denkliği için K^+(suda) tuz köprüsünden göçer. **20-2.** İnert Pt(k) elektrotun kütlesi değişmez; Cu(k) elektrodun kütlesi Cu^{2+}(suda) + $2e^- \rightarrow$ Cu(k) yarı tepkimesine göre artar; Zn(k) elektrodun kütlesi Zn(k) → Zn(suda) + $2e^-$ yarı tepkimesine göre azalır. **20-3.** ClO_4^-(suda) ve H^+(suda) için standart hal koşulları a =1 M ; Cl_2(g) için a = 1 bar ≈ 1 atm; H_2O(s) için a = 1 dir. **20-4.** $E^o > 0$ olan hücre daha fazla ürünün oluşacağı yöne doğru ilerler. $E^o < 0$ durumunda da net bir tepkime olur, ama ters yönde gerçekleşir; dengeye ulaşılana kadar eşitliğin sol tarafındaki derişimler artar ve sağ taraftakiler azalır. **20-5.** Bütün tepkenler ve ürünler standart hallerindeyse, ve aynı zamanda eşitlik (20.18) de Q = 1 sağlanırsa, $E_{hücre} = E^o_{hücre}$ dir. **20-6.** Çökelek $Pb(SO_4)$(k) dür, böylece anot bölgesinde $[Pb^{2+}]$ azalır ve $E_{hücre}$ değeri artar; bu nedenle $E_{hücre} > E^o_{hücre}$ dir. **20-7.** Pt(k) | Cl_2(g, 1 atm) | Cl^-(0,50 M) || Cl^-(0,10 M) | Cl_2(g, 1 atm) | Pt(k) hücre diyagramının net hücre tepkimesi: 0,50 M Cl^-(suda) ⟶ 0,10 M Cl^-(suda) ve $E_{hücre} = -0,0592$ V × log(0,10/0,50) = 0,041 V. **20-8.** Bir kalomel elektrotta indirgenme potansiyeli klorür potansiyeline bağlıdır. Bu nedenle bir kalomel elektrodun standart indirgenme potansiyeli klorür derişimlerine bağlı olarak, doymuş kalomel elektroddan farklıdır. **20-9.** Kuru piller ve kurşun-asit pilleri tükendiğinde tepkenler ve ürünler denge değerine ulaşır, ΔG ve $E_{hücre}$ nin her ikisinde sıfır olur. Yakıt pillerinde bu olmaz çünkü yakıt sürekli eklenir. **20-10.** Hem Al hem de Zn kullanılabilir; çünkü Fe den daha etkindirler; Ni ve Cu, Fe den daha az etkindir ve kullanılamazlar.

BÖLÜM 21

Kavram Değerlendirme 21-1. AlF_3 en yüksek erime noktasına sahiptir. **21-2.** Na^+, K^+, Rb^+ ve Cs^+ iyonları nispeten düşük yük yoğunluğuna sahiptir ve NO_2^- gibi büyük, çok atomlu anyonları daha iyi kararlı hale getirirler. Li^+ iyonu yüksek yük yoğunluğuna ve yüksek polarlama gücüne sahip olduğundan, kinetik olarak N^{3-} ve N^{2-} gibi çok atomlu anyonların O^{2-} gibi küçük anyonlara ayrışmasına yardımcı olabilir. Tepkime için denkleştirilmiş kimyasal eşitlik: $MNO_3(k) \xrightarrow{\Delta} MNO_2(k) + ½\,O_2(g)$ (M = Na, K, Rb, Cs); $2LiNO_3(k) \xrightarrow{\Delta} Li_2O(k) + 2NO_2(g) + ½\,O_2(g)$. **21-3.** $BeCl_2$ den $(BeCl_2)_2$ ye ve $(BeCl_2)_n$ e doğru Be un melezleşmesi sp den sp^2 ye ve sp^3 e değişir, Be atomu etrafında ise geometri, doğrusaldan düzlem üçgene ve dörtyüzlü yapıya doğru değişir. **21-4.** Olası tepkime Mg(k) un MgO(k) e yükseltgendiği ve CO_2(g) nin C(k) ye indirgendiği 2Mg(k) + CO_2(g) → 2 MgO(k) + C(k) tepkimesidir. **21-5.** Berilyum dışında bütün grup 2 karbonatlarının (MCO_3) ısıtılması, karşılık gelen oksidi verir (MCO); [bakınız eşitlik (21.11)]. BeO hazırlamak için bir yöntem Be(k) yi O_2 ile yakmaktır. **21-6.** Be^{2+} nın küçük boyutu, altı H_2O

molekülünün merkez Be^{2+} iyonuna koordine olma olasılığını ortadan kaldırır; oysa bu Mg^{2+} iyonuyla gerçekleşir. **21-7.** Lityum ve magnezyum yüksek yük yoğunluğu olan ve güçlü polarlayıcı Li^+ ve Mg^{2+} iyonlarını oluşturur. Muhtemelen bu iyonların yük yoğunlukları N^{3-} iyonunu kararlı hale getirecek kadar büyüktür. Tepkime için denkleştirilmiş eşitlik: $3Li(k) + \frac{1}{2} N_2(g) \rightarrow Li_3N(k)$; $3Mg(k) + N_2(g) \rightarrow Mg_3N_2(k)$. **21-8.** Köprülü iki H atomu ve uçlarda dört metil grubuyla $B_2H_2(CH_3)_4$ ün yapısı diborana (şekil 21-11a) benzer. **21-9.** AlF_3 elektron eksikliği olan bir bileşiktir ve KF den gelen F^- varlığında $[AlF_4]^-$ oluşturur. BF_3, AlF_3 den daha kuvvetli bir Lewis asididir ve F^- iyonunu $[AlF_4]^-$ den alır: Sonuçta $[AlF_4]^- + BF_3 \longrightarrow AlF_3(k) + [BF_4]^-$ **21-10.** Eşitlik (7.21) i kullanarak her tepkimeni için ΔH^o belirlenir; tek fark, eşitlik (21.29) da 1 mol CO_2 nin eşitlik (21.30) daki 1 mol CO ile yer değiştirmesidir. Tepkime ısısındaki fark –110,5 kJ/mol CO(g) – [–393,5 kJ/mol CO_2(g)] = 283 kJ. Tepkime (21.30), tepkime (21.29) dan 238 kJ daha az ısı açığa çıkarır. **21-11.** Sayfa 958 ve 959 a bakınız, SiO_4^{4-} ile başlayan dörtyüzlü ve SiO_3^{2-} nin artışıyla artan zinciri hayal ediniz, SiO_4^{4-}, $Si_2O_7^{6-}$, $Si_3O_{10}^{8-}$, $Si_4O_{13}^{10-}$, $Si_5O_{16}^{12-}$, $Si_6O_{19}^{14-}$ oluşur. Şimdi zincirin uçlarından birer O^{2-} çıkararak, zinciri altıgen halka haline getiriniz (sayfa 958 deki üçüncü yapıya benzer). Sonuç $Si_6O_{18}^{12-}$ anyonudur. Beril'de gerekli 12 pozitif yükü $3Be^{2+}$ ve $2Al^{3+}$ sağlar. **21-12.** O_2(g) gazı Sn^{2+} içinde çözülürse Sn^{2+}, Sn^{4+} e yükseltgenebilir. Aşağıda kendiliğinden yürüyen tepkime kalay(IV) ü kalay(II) ye indirger: Sn^{4+}(suda) + Sn(k) $\longrightarrow$ Sn^{2+}(suda); $E^o_{hücre} = 0{,}154\ V - (-0{,}137) = 0{,}017\ V$. Bundan dolayı Sn(k) nin aşırısı bulunduğu sürece Sn^{4+}(suda) çok az olduğunda veya hiç olmadığında Sn^{2+}(suda) korunabilir.

BÖLÜM 22

Kavram Değerlendirme 22-1. Xe ve Cl atomlarına göre Xe ve F arasındaki daha büyük elektronegatiflik farkı ve daha kısa bağ uzunluğu, XeF_2 yi $XeCl_2$ den daha kararlı kılar. **22-2.** İyonlar aynı şekle sahip değildir. ICl^+ (VSEPR gösterimi, AX_2E_2) düzgün dörtyüzlü elektron-grup geometriye ve açısal molekül şekline sahiptir. ICl_2^+ (VSEPR gösterimi, AX_2E_3) üçgen bipiramit elektron-grup geometriye ve doğrusal molekül şekline sahiptir. **22-3.** $CuSO_4$(suda) çözeltisi Pt elektrotta Cu(k) ve Pt anotta O_2(g) üretir, NaI(suda) çözeltisi anotta I_2 ve katotta H_2(g) üretir. Diğer üç çözeltinin hepsi [H_2SO_4(suda), NaOH(suda) ve KNO_3(suda)] katotta H_2(g) ve anotta O_2(g) üretir. **22-4.** O_3 ve O_3^- ün ikisi de V şeklindedir. Bu türler için Lewis yapıları, merkez atomunun O_3 de sp^2 melezleşmiş ve O_3^- de sp^3 melezleşmiş olduğunu önerir, dolayısıyla ideal açılar O_3 için 120°, O_3^- için 109° dir. Deneyler bu iki molekül şekli arasındaki O—O—O bağ açılarının birbirine daha da yakın olduğunu göstermiştir; O_3(g) da 117° ve KO_3(k) de 114° dir. Deneysel sonuçlar O_3 ve O_3^- deki bağlanmayı açıklamak için değerlik-bağ kuramının tamamen tatmin edici olmadığını gösterir. Molekül orbital kuramı daha uygundur (Molekül orbital kuramına göre O_3 deki fazla 1 elektron karşıt bağlayıcı orbitalde bulunur). Sonuçta O_3^- deki oksijen-oksijen bağları O_3 dekinden çok az daha uzundur, fakat bağ açısı önemli ölçüde etkilenmez. **22-5.** OCl_2 deki Cl, OF_2 deki F dan daha pozitif karakter (mavi renk) gösterir, çünkü Cl un elektronegatifliği F unkinden önemli ölçüde azdır. **22-6.** Fosforik asit ve fosforöz asidin yoğun yapı formülleri sırasıyla $OP(OH)_3$ ve $HPO(OH)_2$ dir. **22-7.** Br atomu Cl atomundan daha büyüktür. Merkez P atomu, düzgün dörtyüzlü yapıda bulunan PBr_4^+ iyonu gibi, sadece dört Br atomunu barındırabilir. Fakat merkez P atomu hem düzgün dörtyüzlü yapıda bulunan PCl_4^+ iyonu gibi dört Cl atomunu, hem de sekizyüzlü yapıda bulunan PCl_6^- iyonu gibi altı Cl atomunu barındırabilir.

BÖLÜM 23

Kavram Değerlendirme 23-1. Fe nin elektron dizilişi $[Ar]3d^64s^2$ ve Fe^{+3} ün elektron dizilişi $[Ar]3d^5$ dir. $3d^5$ kabuğu yarı doludur ve özellikle kararlıdır. Kobalt $[Ar]3d^74s^2$ ve nikel $[Ar]3d^84s^2$ yarı dolu $3d$ kabuğu dizilişine sahip olmak için sırasıyla 4 ve 5 elektron kaybetmelidir. Onlar bunun yerine sadece 4s elektronlarını kaybederler. **23-2.** Her ikisi de metalik bileşikleri serbest metallere indirger. Pirometalurji yüksek sıcaklık gerektirir, saflaştırılması gereken saf olmayan metaller verir ve gaz yayılmasına ve su kirliliğine yol açar. Hidrometalurji sulu çözeltide istenen metal iyonlarının özütlenerek arıtılmasını içerir; bunu kimyasal veya elektrolitik indirgenme ile metali vermesi izler. Düşük sıcaklıklar kullanılır, gaz yayılması büyük oranda azalır; fakat sıvı atık çözeltileri oluşur. **23-3.** $Fe_2O_3(k) + 3H_2(g) \xrightarrow{\Delta} 2Fe(k) + 3H_2O(g)$. **23-4.** $[Cr_3O_{10}]^{2-}$ anyonu Cr — O — Cr — O — Cr zinciri etrafında düzenlenmiş üç dörtyüzlü yapıya sahiptir. Zincirin merkez Cr atomu ilave iki O atomuna ve sonlardaki Cr atomları toplam üçer başka O atomuna olmak üzere toplam 10 O atomuna bağlıdır. Cr un yükseltgenme basamağı +6 ve O nunki -2 dir. Benzer anyonlar polisilikat (Şekil 21-31) ve polifosfattır (Şekil 22-22). **23-5.** $Fe(CO)_5$ deki CO grupları nötral moleküllerdir; C ve O nin yükseltgenme basamakları toplamı 0 ve Fe in yükseltgenme basamağı da 0 dır. **23-6.** Au (Z= 79, grup 11) $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^1$ elektron dizilişine sahiptir; Au^{3+} oluşurken 6s deki elektron ve 5d den 2 elektron verilir, elektron dizilişi $[Xe]4f^{14}5d^8$ olur. **23-7.** $[CdCl_5]^{3-}$ de merkez atom Cd^{2+} etrafındaki beş elektron çifti üçgen bipiramit molekül şekli ile uyumludur (bakınız Çizelge 10-1).

BÖLÜM 24

Kavram Değerlendirme 24-1. Altı koordine bir kompleks için sadece bir olasılık vardır [$AlCl_3(H_2O)_3$]. Bu elektrolit değildir ve elektriği iletmez ve $AgNO_3$(suda) ile çökmez. Dört koordine kompleks için üç olasılık vardır: $[AlCl(H_2O)_3]Cl_2$, $[AlCl_3(H_2O)_2]Cl{\cdot}H_2O$ ve $[AlCl_3(H_2O)]{\cdot}2H_2O$. Bu üçünden ilk ikisi iletkenlik ölçümü ile farklılandırılabilir; ilki daha iletkendir. Üçüncüsü Werner yöntemiyle altı koordine kompleksten ayırt edilemez. **24-2.** Üç azot atomu birer elektron çifti verebilir; ligant üç dişlidir. **24-3.** Koordinasyon bileşiğinin formülü $K_3[FeBr_2Cl_2(OH)_2]$ ve ismi pot asyumdibromdiklordihidroksiferrat(III) dür. **24-4.** Modellerde de görüldüğü gibi kenarda, *mer*-izomerde dördüncü Cl^- nin yerdeğiştirmesi dört Cl^- atomunun da aynı düzlemde olmasını sağlar; fakat *fac*-izomerde dördüncü Cl^- nin yerdeğiştirmesiyle aynı izomer elde edilemez. **24-5.** (a) ve (d) yapıları aynı değildir ve (b), (c) ve (e) nin geometrik izomerleridir. (e) ve (c) yapıları enantiyomerlerdir. (b) ve (e) aynıdır. **24-6.** (i) 4 (ii) 3 (iii) 5 (iv) 2 (v) 1. **24-7.** İki ligant da kompleks oluşturur. $[Cr(EDTA)]^-$ bunu tek adımda yapar, $[Cr(en)_3]^{3+}$ ise sırasıyla üç adım gerektirir. $[Cr(EDTA)]^-$ için β_1, $[Cr(en)_3]^{3+}$ için olan β_1 ve β_2 den daha büyüktür; fakat $[Cr(en)_3]^{3+}$ için toplam oluşum sabiti β_3 (veya K_{ol}) $[Cr(EDTA)]^-$ için olan β_1 e (veya K_{ol}) eşit olmalıdır.

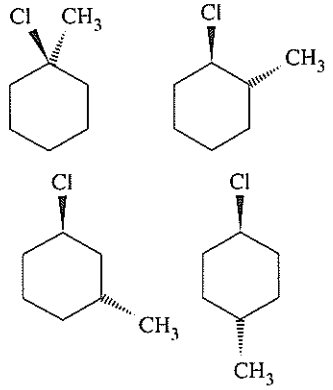
BÖLÜM 25

Kavram Değerlendirme 25-1. Z yi değiştiren radyoaktif bozunma, farklı bir element oluşturur. Bu α, β^-, β^+ yayınlanmaları ve elektron yakalamayı kapsar. Eğer Z de değişiklik yoksa (γ ışını yayınlanması) element aynı kalır. **25-2.** Radyoaktif bir element olan fransiyum ağır elementlerin bozunma şemasında açığa çıkar ve Fr'a benzer alkali metallerin doğal kaynaklarında değil, diğer bozunma ürünleriyle birlikte bulunur. **25-3.** Çok uzun yarı ömrü olan radyoaktif çekirdekler oldukça düşük aktifliğe sahiptirler; Çok kısa yarı ömrü olan radyoaktif çekirdekler oldukça yüksek aktifliğe sahiptirler; ancak uzun süre kalıcı değillerdir. Orta yarı-ömürlü olanlar doğada önemli bir zaman için yüksek aktiflikle kalırlar ve bu da onları en tehlikeli yapar. **25-4.** Çizelge 25.2 ve Şekil 25-7'e bakınız ve sabit bir proton numarası ve sabit bir nötron numarası için sihirli sayılara, kararlılık kuşağının göreceli kalınlığına ve genişliğine odaklanınız. En büyük kalınlık sihirli sayı Z=50 de olur (kalayın 10 kararlı izotopu vardır.) En büyük genişlik N=82 olan sihirli sayıda olur. (82 n ile 7 kararlı çekirdek vardır.). **25-5.** Şekil 25-7 ye bakınız. ^{44}Ca atomunu gösteren nokta kararlılık kuşağına düşer; ^{44}Ca kararlı bir çekirdektir. ^{57}Cu, $N = Z$ çizgisinin altına ve β^+ yayınlanma bölgesine düşer, ^{100}Zr ise kararlılık kuşağının üzerine düşer ve β^- yayınlanması ile bozunur. ^{235}U kararlılık kuşağının üzerine ve yanına düşer ve α-parçacığı yayınlanması ile bozunur.

BÖLÜM 26

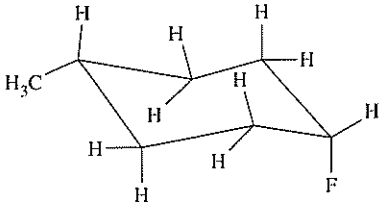
Kavram Değerlendirme 26-1. Dörtyüzlünün iki konumunda F atomlarının ve diğer iki konumda H atomlarının bulunduğu bütün

yapılar ayna görüntüsüyle üst üste çakışır; sadece bir molekülün formülü CH_2F_2 dir. Bir karenin köşelerinde bulunan dört atom için iki olasılık vardır: iki flor atomu aynı tarafta (*cis*) veya karşılıklı köşelerde (*trans*) olabilir. **26-2.** Hayır. Kuarterner karbon atomu dört karbon atomuna bağlıdır. **26-3.** 2-pentanol. **26-4.** Alkanın genel formülü C_nH_{2n+2} dir ve bir alkil halojenürde bir H atomu yerine X atomu geçer, $C_nH_{2n+1}X$. Seriyi X in uç atom olduğu düz zincirli alkanlarla sınırlandırırsak, $H(CH_2)_nX$ olur. n=1, HCH_2X veya CH_3X; n = 2, HCH_2CH_2X veya CH_3CH_2X; n = 3, $HCH_2CH_2CH_2X$ veya $CH_3CH_2CH_2X$; vb. **26-5.** Evet. **26-6.**



26-7. Aksiyal konumda metil grubu bulunan konformerin enerjisi daha yüksektir; dolayısıyla yakıldığında daha fazla ısı enerjisi açığa çıkar.

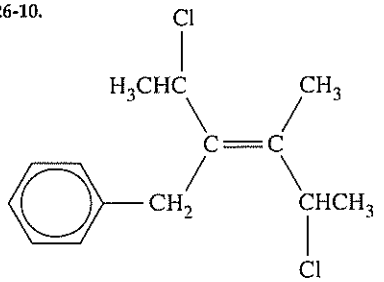
26-8. En düşük enerjili konformasyon aşağıdaki gibidir:



En büyük grup, $-CH_3$, ekvatoryal konumdadır.

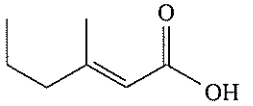
26-9. 2. ve 3. C atomları (Br atomlarını taşıyan) olmak üzere iki kiral merkez ve dört stereoizomer vardır. Bunu göstermek için iki brom atomunun molekülün aynı tarafında bulunduğu bir kesik çizgi-kama yapısı çiziniz; ardından kendisi ile çakışmayan ayna görüntüsünü çiziniz. Br atomlarının karşılıklı konumlarda olduğu diğer yapıyı ve ayna görüntüsünü çiziniz. Toplam dört stereoizomer elde edilmiş olur.

26-10.



26-11. Bütil alkolde —OH grubu C—C*—C*—C; zincirinde işaretlenmiş C atomlarından ikisinden birine bağlandığında oluşan moleküller aynıdır ve sadece bir *sek*-bütil alkol vardır. Pentil alkolde –OH grubu C—C*—C#—C*—C zincirinde işaretlenmiş C atomlarından birine bağlanır. Bağlanma C* atomlarına olursa aynı yapılar elde edilir, fakat bağlanma C#atomuna olursa farklı bir molekül elde edilir. "*sek*-pentil alkol" isimlendirmesi yetersizdir.

26-12.

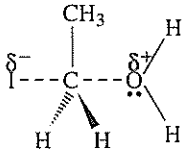


26-13. Hayır; çünkü $C_3H_6O_2$ ın doymamışlık derecesi birdir. Bir dialdehitte iki π bağı vardır, dolayısıyla doymamışlık derecesi ikidir.

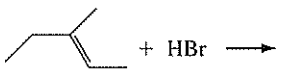
BÖLÜM 27

Kavram Değerlendirmesi 27-1. CH_3CN aprotik, NH_3 protik, $(CH_3)_3N$ aprotik, $HCONH_2$ protik, CH_3COCH_3 aprotik. **27-2.** Yan ürün bir yerdeğiştirme ürünü olan bir eterdir; $(CH_3)_3C—OCH_2CH_3$. Tepken 3° haloalkan (arkadan saldırı yeğlenmez) ve çözücü polar protik (bir karbokatyonu kararlı hale getirir) olduğu için eter S_N1 mekanizmasıyla oluşur.

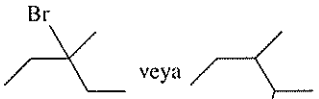
27-3.



27-4.



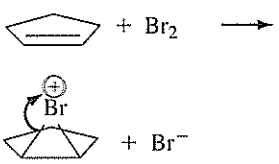
(*E*)-3-metilpent-2-en

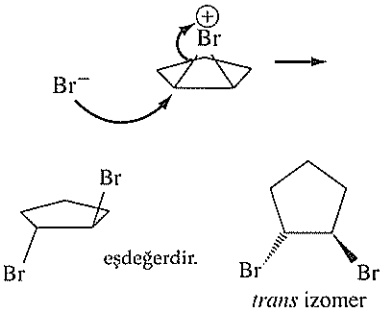


3-brom-3-metilpentan (ara ürün)

2-brom-3-metilpentan (yan ürün)

27-5. Enantiyomerlerin bir karışımı elde edilir; çünkü su katılması bir karbokatyon üzerinden gerçekleşir. Karbokatyon bir su molekülüne alttan veya üstten saldırabilir; böylece 2-bütanolün hem (*R*) hem de (*S*) konfigürasyonları oluşur. **27-6.** Ürün *trans*-1,2-dibromsiklopentan olacaktır. Eğer halka düzleminin üstünde bulunan Br ile bromonyum iyonu oluşursa, Br^- iyonu halka düzleminin altından saldırır; çünkü Br^- iyonunun arkadan saldırması gerekir. Böylece *trans* izomer oluşur.





27.7. Oluşur oluşmaz $CHCl_3$ bir Cl· ile tepkimeye girerek H_2ClC•radikali oluşturur. Sonra H_2ClC•radikali bir H_3C• radikali ile tepkimeye girerek $ClCH_2CH_3$. oluşturur.

27.8. $(CH_3)_2CBrCH_2CH_3$.

BÖLÜM 28

Kavram Değerlendirme 28-1. Ürünler 1 mol gliserin ve 1 er mol sodyum palmitat, sodyum oleat ve sodyum linoleattır. **28-2.** (+) enantiyomerin ayna görüntüsü (-) enantiyomerdir; dolayısıyla D-(+)-glukozun ayna görüntüsü L-(–)-glukozdur. D-(–)-glukoz olamaz. **28-3.** Bu polipeptit yapısı Örnek 28-1 de gösterilmiştir. İyonlaşma zincirin sadece N-uç ve C-uçlarda olur ve zincirin başka bir yerinde olmaz. N-uç ve C-uç amino asitler bir pH da, kendi izoelektronik noktalarının bir pH birimi üstünde olduğu için tek önemli iyonlaşma C-uç amino asittedir, 1– anyon olarak gösterilir, yani tripeptit için de net yük 1– dir. **28-4.** Bir proteindeki sarmal yapı (Şekil 28-12) karbonil ve amit gruplarının yakın olmasını ve bu gruplar arasında hidrojen bağlarının oluşmasını sağlar ve düzenli bir makromolekül oluşur. Polisakkaritlerde (Şekil 28-9) O atomları ile –OH grupları birbirleriyle hidrojen bağları oluşturabilirler; fakat bunlar daha rastgeledir ve proteinlerde görüldüğü gibi çok sıkı sarmal şekilde değildir.

Fotoğraflar

BÖLÜM 1 s. 1, Science VU/NASA/ESA/ Visuals Unlimited, Inc.; s.3, Stamp from the private collection of Professor C. M. Lang. Photography by Gary J. Shulfer, University of Wisconsin, Stevens Point. "1973, France (Scott #B468)"; Scott Standard Postage Stamp Catalogue, Scott Pub. Co., Sidney, Ohio; s.4, Paul Silverman/ Fundamental Photographs, Inc.; s.5, 1.3, Diane Schiumo/Fundamental Photographs, Inc.; s.6, Eye of Science/Science Photo Library; s.7, 1-5a/b Carey B. Van Loon; 1-5c/d, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; 1-6, Carey B. Van Loon; s.8, 1-7, Mehau Kulyk/Science Photo Library; s.10, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s.16, 1-10 (her ikisi de), Kristen Brochmann/ Fundamental Photographs, NYC; alt, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; s.19 (sol and sağ), Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; s.21, 1-12, Carey B. Van Loon; s.32 (92), Sargent-Welch/ VWR International, s.32 (93), Tom Leininger/ University of Kansas School of Engineering

BÖLÜM 2 s.34, Courtesy of the Oak Ridge National Laboratory, managed by the U.S. Department of Energy by UT-Battelle, LLC; s.35, 2-1, Carey B. Van Loon; 2-2a/b, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s.36 (a), Katrina Brown/Dreamstime.com, (b), Photos.com/Jupiterimages Unlimited; s.38, Sheila Terry/Science Photo Library; s.39, 2-4a, Fundamental Photographs, NYC; s.55, 2-17, Carey B. Van Loon; s.56, 2-18, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC

BÖLÜM 3 s.68, Dr. Jeremy Burgess/Science Photo Library; s.70, 3-1 (sol), Carey B. Van Loon; s.86, 3-7, Carey B. Van Loon; s.93, 3-8, Tom Pantages; s. 109, Carey B. Van Loon

BÖLÜM 4 s. 111, Roger Ressmeyer/Terra/ Corbis; s. 112, 4-1, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; 4-2a, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; 4-2b, Tom Bochsler/Pearson Education/PH College; s. 125, 4-5a/b/c, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s. 127, 4-7a/b/c, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s.149 (sol), Ed Degginger/Color-Pic, Inc.; (sağ), Robert Mathena/Fundamental Photographs, Inc.

BÖLÜM 5 s.151, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; s.152, 5-1a, Tom Pantages; 5-1b, C Squared Studios/ Photodisc/Getty Images; s.154, 5-4a/b/c, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s. 157, 5-6, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; 5-7a/b/c, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; s. 158, 5-8, Carey B. Van Loon; s. 161, 5-9, Carey B. Van Loon; s. 164, 5-10, Nicola Keegan/iStockphoto. com; s. 166, 5-11, Tom Pantages; s.167, 5-12a/b/ c, Joel Gordon; s. 169, 5-13, Carey B. Van Loon; s. 174, 5-14, Phil Degginger/Color-Pic, Inc.; s. 176, 5-16, Kristen Brochmann/Fundamental Photographs, NYC; s. 178, 5-17a/b/c, Carey B. Van Loon; s. 180, 5-18a/b/c, Carey B. Van Loon; s. 182, Carey B. Van Loon; s. 187 (a&b), William H. Breazeale/Francis Marion University; (c), Tom Pantages

BÖLÜM 6 s. 192, Carlos Caetano/Shutterstock; s. 193, 6-1, Carey B. Van Loon; 6-2, Kristen Brochmann/Fundamental Photographs, NYC; s. 194, 6-3, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s. 201, Science Source/Photo Researchers, Inc.; s. 202, Stamp from the private collection of Professor C. M. Lang. Photography by Gary J. Shulfer, University of Wisconsin, Stevens Point. "1956, Italy (Scott #714)"; Scott Standard Postage Stamp Catalogue, Scott Pub. Co., Sidney, Ohio; s. 203, 6-9, Carey B. Van Loon; s. 210, 6-11, Carey B. Van Loon; s. 223, 6-18, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s. 232 (her ikisi de) Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC

BÖLÜM 7 s. 241, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; s. 242, 7-1, Kristen Brochmann/Fundamental Photographs, NYC; s. 243, 7-2, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; s. 244, Science Photo Library; s. 249 (a&b), Carey B. Van Loon; s. 268, Tom Pantages; s. 269, Carey B. Van Loon; s. 278, Simon Fraser/Science Photo Library

BÖLÜM 8 s. 294, Dennis Kunkel Microscopy, Inc./Visuals Unlimited, Inc.; s. 298, 8-4a, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; 8-4b, Douglas Freer/iStockphoto.com; s. 299, 8-6, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s. 300, 8-7a, Theo Gottwald/Dreamstime.com; 8-7b, Photos. com/Jupiterimages Unlimited; 8-8a, Carey B. Van Loon; 8-8b/c/d/e, Tom Pantages; s. 301, 8-9 (sol), Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; 8-9 (sağ),Wabash Instrument Cors./Fundamental Photographs, NYC; 8-10, Wabash Instrument Cors./ Fundamental Photographs, NYC; s. 302, Oleg Fedorenko/iStockphoto.com; s. 303, AIP Emilio Segre Visual Archives, gift of Jost Lemmerich; s. 305, Bettmann/Corbis; s. 307, Stamp from the private collection of Professor C. M. Lang. Photography by Gary J. Shulfer, University of Wisconsin, Stevens Point. "1963, Denmark (Scott #409)"; Scott Standard Postage Stamp Catalogue, Scott Pub. Co., Sidney, Ohio; s. 313, The Nobel Foundation; s. 314, 8-16a/b, Courtesy of The Education Development Center; s. 315, Photograph by Paul Ehrenfest, Jr., courtesy AIP Emilio Segre Visual Archives, Weisskopf Collection

BÖLÜM 9 s. 360, IBM Research, Almaden Research Center; s. 362, Stamp from the private collection of Professor C. M. Lang. Photography by Gary J. Shulfer, University of Wisconsin, Stevens Point. "1957, Russia (Scott #1906) and 1969, Russia (Scott #3607)"; Scott Standard Postage Stamp Catalogue, Scott Pub. Co., Sidney, Ohio; s. 363, Bettmann/ Corbis; s. 364, 9-2b, British Department of the Environment, Transport and the Regions; s. 382, 9-13, Carey B. Van Loon; s. 384, 9-15a, Ed Degginger/Color-Pic, Inc.; 9-15b, Carey B. Van Loon; 9-16, Carey B. Van Loon; s. 385, 9-17a/b, Carey B. Van Loon

BÖLÜM 10 s. 396, UPI/Bettmannn/Corbis; s. 401, 10-3, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s. 424, 10-12, Carey B. Van Loon; s. 425, Tablo 10.1 (hepsi), Carey B. Van Loon; s. 426, Tablo 10.1, Carey B. Van Loon

BÖLÜM 11 s. 453, 11-5, Carey B. Van Loon; s. 455, 11-9, Carey B. Van Loon; s. 456, 11-10, Carey B. Van Loon; s. 458, 11-12a/b, Carey B. Van Loon; s. 462, 11-15, Carey B. Van Loon; s. 474, UPI/Bettmann/Corbis; s. 476, 11-31, Clive Freeman, The Royal Institution/Science Photo Library

BÖLÜM 12 s. 498, Brytta/iStockphoto.com; s. 499, 12-1, Tom Pantages; s. 500, 12-3a/b, Carey B. Van Loon; s. 504, 12-8, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s. 505, Uros Medved/Dreamstime.com; s. 508, 12-10, Carey B. Van Loon; s. 509, 12-12, Carey B. Van Loon; 12-13, Ed Degginger/Color-Pic, Inc.; 12-14; Carey B. Van Loon; s. 510, 12-15, Tom Pantages; s. 517, 12-21 (her ikisi de), Carey B. Van Loon; s. 518, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; 12-22 (hepsi), Benzenin kritik noktası ile ilgili görüntüler: Chemistry Comes Alive! By Jerrold J. Jacobsen, John W. Moore, et al., published by Journal of Chemical Education Software; s. 521, 12-25, Carey B. Van Loon; s. 523, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; s. 527, Tom Pantages; s. 528, 12-34d, Tom Pantages; 12-35b, Boris I. Yakobson and Richard E. Smhepsiey, Rice University; s. 531, 12-38 (hepsi), Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; (alt), Adalberto Rios Szalay/Sexto Sol/Photodisc/ Getty Images; s. 532, 12-39a (sağ, her ikisi de), Carey B. Van Loon; s. 533, 12-40 (her ikisi de), Carey B. Van Loon

BÖLÜM 13 s. 557, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; s. 569, 13-9, Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; s. 571, 13-10, Carey B. Van Loon; (alt), Charles D. Winters/Photo Researchers, Inc.; s. 572, Kevin Panizza/Dreamstime.com; s. 576, winhorse/iStockphoto.com; s. 577, 13-16b, Richard Megna/Fundamental Photographs,

NYC; **s. 580 (hepsi),** Dr. David Phillips/ Visuals Unlimited, Inc.; **s. 581,** Katadyn North America. Used by permission; **s. 584 (üst sol),** Wayne Eastep/Stone/Getty Images; **(üst sağ),** Mctde/Dreamstime.com; **(alt),** Mark Joseph/Stone/Getty Images; **s. 585,** Library of Congress; **s. 588 (üst sol),** Mauro Furmariello/ Science Photo Library; **13-21,** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 589, 13-23 (her ikisi de),** Carey B. Van Loon

BÖLÜM 14 s. 602, Joseph s. Sinnot/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 629,** Cathy Keifer/Dreamstime.com; **s. 630, 14-13,** James Blank/Taxi/Getty Images; **s. 635, 14-15,** Alexandre Fagundes De Fagundes/Dreamstime. com; **s. 639,** Carey B. Van Loon; **s. 640,** Oxford Molecular Biophysics Laboratory/ Science Photo Library; **s. 653 (her ikisi de),** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC

BÖLÜM 15 s. 655, BigEye Photography/ iStockphoto.com; **s. 656, 15-1,** Carey B. Van Loon; **s. 663,** Alexandra Winkler/Reuters/ Corbis; **s. 678,** N.S. Alexander/Visuals Unlimited, Inc.; **s. 680, 15-8a/b,** Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC

BÖLÜM 16 s. 697, Monia33/Dreamstime.com; **s. 698,** Carey B. Van Loon; **s. 709, 16-7,** Tom Pantages; **s. 717,** Carey B. Van Loon; **s. 720,** Carey B. Van Loon; **s. 724, 16-9,** Carey B. Van Loon; **s. 734, 16-13,** Tom Pantages

BÖLÜM 17 s. 745, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 746, 17-1,** Carey B. Van Loon; **s. 748, 17-2,** Carey B. Van Loon; **s. 749, 17-3,** Carey B. Van Loon; **s. 750, 17-4 (hepsi),** Carey B. Van Loon; **s. 759,** Tom Pantages; **s. 761,** ElenaRooraid/PhotoEdit, Inc.

BÖLÜM 18 s. 784, Mega5329/Dreamstime. com; **s. 786,** Dennis Kunkel Microscopy, Inc./ Visuals Unlimited, Inc.; **s. 788,** Sovereign, ISM/Science Photo Library; **s. 789, 18-1,** Carey B. Van Loon; **s. 793, 18-3 (her ikisi de),** Carey B. Van Loon; **s. 797,** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 800, 18-5a/ b,** Tom Pantages; **s. 801, 18-6,** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 806 (a&b),** Carey B. Van Loon; **18-8,** Carey B. Van Loon; **s. 809, 18-9,** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC

BÖLÜM 19 s. 819, Mason Dixon Historical Society, Inc.; **s. 820 (üst),** Stockbyte/Getty Images; **(alt),** Michael Dalton/Fundamental Photographs, NYC; **s. 822,** Central Library for Physics, Vienna, Austria; **s. 834,** Bettmann/ Corbis

BÖLÜM 20 s. 863, Thomas Kienzle/AP Images; **s. 864, 20-1,** Carey B. Van Loon; **s. 874,** Thomas Phillips/Bettmann/Corbis; **s. 877, 20-7,** Diane Schiumo/Fundamental Photographs, NYC; **s. 880,** Stamp from the private collection of Professor C. M. Lang. Photography by Gary J. Shulfer, University of Wisconsin, Stevens Point. "1980, Sweden (Scott #1344)"; Scott Standard Postage Stamp Catalogue, Scott Pub. Co., Sidney, Ohio; **s. 889 (üst),** Carey B. Van Loon; **20-15,** Marek Pawluczuk/Shutterstock; **s. 890,** David Wood/Dreamstime.com; **s. 893,** Courtesy of Toyota Motor Sales, U.S.A., Inc.; **s. 864, 20-20,** Carey B. Van Loon; **s. 895 (üst),** Gary Woodard/ GW Photographics/iStockphoto.com; **(alt),** Missouri Dry Dock and Repair Company, Inc.; **s. 898,** B. Runk/S. Schoenberger/ Grant Heilman Photography/ Alamy; **s. 901,** Charles E. Rotkin/Corbis; **s. 902,** Sam Ogden/Science Photo Library

BÖLÜM 21 s. 917, Kenneth Sponsler/ iStockphoto.com; **s. 920,** Ken Lucas/Visuals Unlimited, Inc.; **s. 921,** Ed Degginger/Color-Pic, Inc.; **s. 923,** Science Photo Library; **s. 925,** Lya Cattel/iStockphoto.com; **s. 929,** Ed Degginger/Color-Pic, Inc.; **s. 933,** Jeffrey A. Scovil/Jeffrey A. Scovil Photography; **s. 938,** VK/Shutterstock; **s. 939, 21-15,** Joshua Haviv/ Dreamstime.com; **(alt),** SuperStock/maXximages.com; **s. 946,** Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; **s. 947, 21-23 (hepsi),** Carey B. Van Loon; **s. 949,** Nicola Stratford/ iStockphoto.com; **s. 952,** Bruce H. Frisch/ Photo Researchers, Inc.; **s. 953,** PjrFoto/studio/ Alamy; **s. 962 (üst),** Photo courtesy of Kyocera Industrial Ceramics Cors./Vancouver, WA; **(alt),** Frank La Bua/Pearson Education/PH College; **s. 963,** Robin Holden Sr/Shutterstock; **s. 974,** Lorpic99/Dreamstime.com

BÖLÜM 22 s. 976, Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 979,** The Nobel Foundation; **s. 980 (üst),** Artdirection/ Dreamstime.com; **(alt),** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 981 (üst),** Goodyear Airship Operations; **(alt),** Argonne National Laboratory; **s. 988 (üst),** Yory Frenklakh/Dreamstime.com; **(alt),** Tom Pantages; **s. 989,** Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; **s. 992,** Carey B. Van Loon; **s. 996,** Reza/Webistan/Reportage/ Getty Images; **s. 997,** Clive Streeter © Dorling Kindersley, Courtesy of The Science Museum, London; **s. 1000, 22-12a,** Jeffrey A. Scovil/ Jeffrey A. Scovil Photography; **22-12b,** Tom Bochsler/Pearson Education/PH College; **22-12c,** Carey B. Van Loon; **22-12d,** Charles D. Winters/Photo Researchers, Inc; **s. 1002 (her ikisi de),** Tom Bochsler/ Pearson Education/ PH College; **s. 1006,** Geoff Tompkinson/ Science Photo Library; **s. 1008 (üst),** Stamp from the private collection of Professor C.M. Lang. Photography by Gary J. Shulfer, University of Wisconsin, Stevens Point. "1978, Sweden (Scott #1271)"; Scott Standard Postage Stamp Catalogue, Scott Pub. Co., Sidney, Ohio; **(alt),** Grant Heilman/Grant Heilman Photography/ Alamy; **s. 1009,** NASA Headquarters; **s. 1011,** Tom Pantages; **s. 1012 (her ikisi de)** Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; **s. 1014 (üst),** Ed Degginger/ Color-Pic, Inc.; **(alt),** Tom Bochsler/Pearson Education/PH College; **s. 1017,** Jerome Wexler/ Visuals Unlimited, Inc.; **s. 1019 (her ikisi de),** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 1022,** Carey B. Van Loon; **s. 1026,** Tom Pantages

BÖLÜM 23 s. 1031, Michael Dalton/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 1036,** Reprinted with permission from M. Seul, L.R. Monar, L. O'Gorman and R. Wolfe, Morphology and local structure in labyrinthine stripe domain phase, Science 254:1616-1618, Fig. 3 (1991). Copy sağ 1991 American Association for the Advancement of Science (AAAS); **s. 1037, 23-5b,** Photo courtesy of Peter Bourke, Outokumpu, Perth, Australia. Reproduced by permission of Outokumpu Mintec OY, Espoo, Finland; **s. 1039, 23-6,** Sol Mednick Photography&Ghepsiery; **s. 1042 (üst),** Wah Chang; **(alt),** Peter Ginter/ Science Faction/Terra/Corbis; **s. 1045,** Steven Weinberg/Stone/Getty Images; **s. 1046 (üst),** PhotoLink/Photodisc/Getty Images; **(alt),** Luis Carlos Torres/iStockphoto.com; **s. 1047, 23-11,** Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC; **s. 1049, 23-12 (hepsi),** Carey B. Van Loon; **s. 1050, 23-13 (her ikisi de),** Carey B. Van Loon; **s. 1052,** Tom Pantages; **s. 1055,** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 1056,** Tom Pantages; **s. 1057,** Mary Evans Picture Library/ The Image Works; **s. 1059,** TM Netscape®/ Tom Pantages; **s. 1060, 23-16,** David Parker/ IMI/ University of Birmingham High TC Consortium/Science Photo Library

BÖLÜM 24 s. 1069, Albert Copley/Visuals Unlimited, Inc.; **s. 1070 (üst),** Science Photo Library; **24-1,** Carey B. Van Loon; **s. 1091, 24-16a,** Fritz Goro/Time&Life Pictures/Getty Images; **s. 1092, 24-18,** Carey B. Van Loon; **s. 1096, 24-20,** Carey B. Van Loon; **24-21,** Carey B. Van Loon; **s. 1100, 24-22,** Carey B. Van Loon; **s. 1101,** Tom Pantages; **s. 1103, 24-26b,** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC

BÖLÜM 25 s. 1111, Celestial Image Co./Science Photo Library; **s. 1112,** Science Photo Library; **s. 1113,** Lawrence Berkeley Laboratory/ Science Photo Library; **s. 1116,** Bettmann/Corbis; **s. 1117,** Bettmann/Corbis; **s. 1118,** David Parker/ Science Photo Library; **s. 1123 (üst),** Vienna Report Agency/Sygma/Corbis; **(alt),** Science VU/NASA-JMP/Visuals Unlimited, Inc.; **s. 1131 (sol),** Yann Arthus-Bertrand/Terra/ Corbis; **(a),** Larry Lefever/Grant Heilman Photography/ Alamy; **(b),** Victor Korotayev/ Reuters/Corbis; **(c),** Pegasus/Visuals Unlimited, Inc.; **s. 1132, 25-9b,** Alex Bartel/Science Photo Library; **s. 1134 (üst),** EFDA-JET/Science Photo Library; **(alt),** SIU/Visuals Unlimited, Inc.; **s. 1135,** Stephen Agricola/The Image Works; **s. 1137 (a),** Perrin/ CNRI/Phototake NYC; **(b),** Collection CNRI/ Phototake Inc./ Alamy; **s. 1138,** Gemaldegalerie, Dahlem-Berlin, Germany/A.K.G., Berlin/ SuperStock/ maXximages.com; **s. 1139,** International Atomic Energy Agency (IAEA)

BÖLÜM 26 s. 1147, Ericka Norman/ iStockphoto.com; **s. 1151,** Stamp from the private collection of C.M. Lang. Photography by Gary J. Shulfer, University of Wisconsin, Stevens Point. "1992, Switzerland (Scott #913)"; Scott Standard Postage Stamp Catalogue, Scott Pub. Co., Sidney, Ohio; **s. 1161,** Bram van Broekhoven/ Shutterstock; **s. 1177,** Glen Jones/ Dreamstime.com; **s. 1178,** Tom Bochsler; **s. 1180,** Stamp from the private collection of C.M. Lang. Photography by Gary J. Shulfer, University of Wisconsin, Stevens Point. "1996, Belgium (Scott #624)"; Scott Standard Postage Stamp Catalogue, Scott Pub. Co., Sidney, Ohio; **s. 1183,** Peter Dean/ Shutterstock; **s. 1184,** Science Photo Library; **s. 1188,** Brandus Dan Lucian/Dreamstime.com; **s. 1190,** Karel Ghepsias/Shutterstock

BÖLÜM 27 s. 1208, David Nunuk/Science Photo Library; **s. 1211,** D. Harlow/U.S. Geological Survey, Denver; **s. 1213,** Science Photo Library; **s. 1246,** Maddie Thornhill/Gap Photo/Visuals Unlimited, Inc.; **s. 1252,** James Holmes/Zedcor/Photo Researchers, Inc

BÖLÜM 28 s. 1266, Tom Pantages/Phototake Inc./Alamy; **s. 1270,** Richard Megna/ Fundamental Photographs, NYC; **s. 1273,** Corbis; **s. 1278,** Tom Pantages/National Exposure Research Laboratory, EPA; **s. 1284, 28-14,** Dr. Arthur Lesk/Science Photo Library; **s. 1285,** Tom Pantages Photo Credits PC2

Dizin

A

ABD Ulusal Işın Ölçme Işından Koruma Derneği, 1136
absorbans, 1103-1104
açık fırın, 1044
açık sistem, 242, 242ş
açık uçlu manometre, 195, 196ş
açısal biçim, 428
açısal dalga fonksiyonu, 324,327ç
açısal düğüm, 330
açısal moment, 307
açısal orbital momentum kuantum sayısı, 324
açil grubu, 1188, 1268
adenin, 1016
adenozin difosfat (ADP), 1287, 1288ş
adenozin trifosfat (ATP), 79, 1287, 1288ş
adenozin, 1016
adezyon kuvvetleri, 508
adipik asit, 902
adiponitril, 902
adlandırma, 87
bakınız bileşiklerin adlandırılması
ağ yapılı kovalent bileşikler, 977
ağ yapılı kovalent katılar, 526–527, 978
ağırlık, 9
ağırlıklı ortalama atom kütlesi, 49, 55
ağırlıklı ortalama formül, 73
aileler, 52
akış pilleri, 888, 906
akış, 938
akışkan yataklı yanma, 1004
akiral, 1169
akrilonitril, 902
akseptör (alıcı) atomlar, 483
aktif bölge, 638, 640, 1288
aktif elektrot, 898
aktifleşmiş kompleks, 624
aktinitler, 51, 53, 364
akümülatör, 889–890
-al soneki, 1184
alaşımlar, 558, 558*n*
bakır alaşımları, 1057
civa alaşımları, 1057
katı çözeltiler, 66
kalay ve kurşun, 965
alçı, 939, 1002
alçıpan, 939
alçıtaşı, 785, 939, 1002
aldehitler, 1184-1186
alev testleri, 806, 921
alfa (α) parçacıkları, 1112, 1113-1114
alfa α-amino asit, 1279
alfa parçacığı saçılım deneyleri, 42-43, 43ş
alfa parçacıkları, 41,42,42ş
alifatik alkoller, 1182
alkali hücre, 888-889
alkali metal kompleksleri, 930- 932
alkali metaller, 52, 920-933
alev renkleri, 921
alkali metal hidrürleri, 926
alkali metal kompleksleri, 930-932
atomik yarıçaplar ve birinci iyonlaşma enerjileri, 376ç
bakınız 1. grup elementleri
deterjanlar ve sabunlar, 932, 933ş
elektrot potansiyelleri, 922
erime noktaları, 921
fiziksel özellikler, 921-923, 921ç
grup 1 bileşikleri, 924-933
halojenler, 925-926
hidroksitler, 926-928
karbonatlar, 928-930
kullanımları, 922-923
oksitler, 926-928
sülfatlar, 928-930
üretim, 922-923
ve hidrojen, 344
yoğunluklar, 921
yük yoğunlukları, 924-925
alkali toprak metalleri, 933-941
fiziksel özellikler, 933-934, 934ş
grup 2 bileşikleri, 936-939
halojenler, 937
hidroksitler, 937-938
karbonatlar, 938-939
kullanımları, 935-936
lityum ve magnezyumun çapraz ilişkisi, 940
oksitler, 937-938
örgü enerjisi, 936-937
sülfatlar, 938-939
tuzların hidrasyonu, 938
üretim, 935-936
alkali, 160
bakınız bazlar
alkaloidler, 712
alkan hidrokarbonu, 1152, 1153
alkan zinciri, 96
alkanlar, 94, 1155-1161
en kararlı konformer, seçim, 1159-1160
hazırlanması, 1160
homolog seriler, 1155
kaynama noktaları, 1155ç
konformasyonlar, 1155-1159
petrol, 1160-1161
temel özellikleri, 1155
tepkimeleri, 1248-1250
alkenler, 94, 1175-1179
ayrılma tepkimesi, 1176
E, Z sistemi, 1178-1179
halojen, 1242-1243
halojenleme, 1242-1243
hazırlanması ve kullanımı, 1176-1177
hidrasyon, 1241-1242
hidrojen halojenürler, 1240-1241
katılma tepkimeleri, 1239-1243
konfigürasyonların adlandırılması, 1178-1179
stereoizomerlik, 1176
tepkimeleri, 1239-1243
yüksek sübstitüe alkenler, 1178-1179
alkil grubu sübstitüenti, 1151
alkil grupları, yaygın, 1152ç
alkil halojenürler, 1153
alkil yan zinciri, 1151
alkil yerdeğiştirmesi, 1218, 1229
alkilleme, 1161
alkinler, 1175-1179
hazırlanması ve kullanılması, 1176-1177
hidrojenleme, 1240
alkoksi grup, 1183
alkoller, 96-97, 97ş, 1153, 1181-1183
alifatik alkoller, 1182
ayrılma tepkimeleri, 1235-1239
bakınız özel alkoller
birincil alkol, 1181, 1185
dehidrasyon tepkimesi, 1236-1237
eldesi, 1264
hazırlanması ve kullanımları, 1182-1183
hidrojen bağı, 304
ikincil alkol, 1181, 1185
tepkimeleri, 1234-1239, 1235ç
üçüncül alkol, 1181, 1185
yerdeğiştirme tepkimeleri, 1235-1239
yükseltgenme, 1185
allotropi, 76,416
grup 15 elementlerinde, 1005
kükürdün, 999
oksijenin, 998-999
alt düzey, 325–326
alt indisler, 69, 80, 81, 82, 126
alt kabuk, 325–326, 339ş
alternatif elektrik akımı (AC), 495
alternatif enerji kaynakları, 280
altın bileşikleri, 1056
altın, 75, 1054–1056, 1055ç
fiziksel özellikler, 51
kimyasal özellikler, 5, 5ş
mol kütlesi, avogadro sabitine bölünen, 56
alumina, 949
aluminosilikatlar, 960-962
aluminyum fosfatlar, 1017
aluminyum sülfat, 1002-1017
aluminyum, 45, 54, 216, 385, 918, 945, 946-950
atom numarası, 363
berilyum ile çapraz ilişki, 950, 977
boksit, 946, 947ş
elektroliz hücresi, 948ş
halojenürler, 948-949
hidroksit, 949

katı alüminyum ve hidroklorik asit çözeltisi arasındaki tepkime, 120
korozyon, 895
lehim, 1057
magnezyum-alüminyum alaşımları, 136
oksit, 949
sülfat, 950
termit tepkime, 945-946
üretimi, 946-948
antiseptik, 992
amalgamlar, 1057
American Chemical Society (ACS), 53
amerikan imlası, 12
ametaller, 52
baş grup ametal iyonları, 366
birden fazla ikili bileşik oluşturan, 89
iyonlar, oluşumu, 54
iyonları, 364–367
özellikleri, 52
soy gaz elektron dizilişleri, 366
ve eklenmiş elektronlar, 379
amfiprotik, 700
amfoterik oksit, 385, 385ş
amfoterik, 700, 934, 946, 949,1280
amin,, 1072
aminler, 711, 731-732, 1190-1191
aminlere dayanan tampon çözeltiler, 756
amino asit sıralaması, 1281-1282, 1283
amino asitler, 782,1279,1279t, 1280, 1290
amitler, 1189-1190
amonton yasası, 206
amonyak sentez tepkimesi, 1008, 1008ş
amonyak, 686,1190
bağlanma, 455
elektrostatik potansiyel haritası, 403ş
Haber-Bosch yöntemi, 1008, 1008ş
lityum ve, 930
oksijen, ile tepkimesi, 114
sentez tepkimesi, 839-840
susuz amonyak, 1008
zayıf baz türevleri, 711
amonyum hidrojen sülfür, 682
amonyum hidroksit, 163, 223ş
amonyum iyonu, 400-400ş
kuarterner amonyum iyonu,1191
top ve çubuk modeli, 162ş
amonyum klorür, 1008
amonyum nitrat, 825, 1008
amonyum perklorat, 993
amonyum siyanür, 1147
amonyum sülfür grubu, 805
amonyum şap, 950
amonyum, 806
amorf katılar, 962
amper, 900
analitik kimya, 1138-1139
analitik terazi, 19ş
angstrom, 296, 368
Angström, Anders, 296
anhidritler, 385
anilin, 731,
anlamlı sayılar, 19–23
belirlenmesi, 19, 20ş
bölme, 20, 22
çarpma, 20, 21ş, 22
çıkarma, 22–23
sayısal hesaplamalarda, 20–21
sayısal sonuçların yuvarlanması, 21
toplama, 22–23
anlık dipoller, 499–500, 499ş
anlık tepkime hızı, 606, 607
anodlaştırma, 949
anot çamuru, 901
anot, 39,864, 865, 867, 897
Antartika, 278ş, 498ş
antifriz, 853
antikanser ilaçlar, 1097
antilogaritma, 704
antimon (III)oksit, 1006
antimon, 1005,1006
antinötron, 1113*n*
anyon yarıçapı, 373, 373ş
anyon, 72, 748
büyüklük, 373
göç, 865
iyon çiftleri, 155n
izoelektronik, 372
kompleks anyonlarda metaller, 1075ç
koordinasyon bileşiklerinde, 1075
ligantlar, 1075
polarlanabilme, 919, 919ş
silikat anyonları, 959
apatitler, 1006
apolar bileşikler, 502
apolar moleküller, 431
aprotik çözücüler, 1220
Aqua fortis, 35
bakınız nitrik asit
araürün, 138
ara boşluklar, 555
araya ekleme, 891
araya eklenen bileşik, 891
Archimedes, 31
ardışık tepkimeler, 132–138, 135–136
arenyum iyonu, 1244
argon, 341, 363, 365, 383, 979, 980
arıtma, 1038
Aristotle, 2
arkadan saldırı, 1217–1218
aromatik aminler, 731
aromatik asitler, 1186
aromatik hidrokarbonlar, 1179–1181
aromatik, 474
Arrhenius eşitliği, 627–628
Arrhenius kuramı, 161, 698
Arrhenius, Svante, 160, 584, 585ş, 586,626, 628
arsenik, 1005, 1006
arsenik(III) oksit, 1006
asetat iyonu, 751ş
asetik asit, 98, 153, 463, 504
denge, 748
dimerleri, 504, 504ş
formülleri, farklı yollarla yazılışı, 155
gösterimi, 70ş
iyonlaşabilen hidrojen atomları, 163
iyonlaşması, 748
kaba formülü, 69
magnezya sütü, 164
molekül formülü, 69
molekülü, 71
sirkede, 179
yapı formülü, 69
yoğunlaşmış yapı formülü, 70
asetilen, 462-464, 1177
asetilkolin, 1010
asetilsalisilik asit, 713, 1188
aseton, 502, 512, 564, 566, 566-577
asidik çözeltiler, 162, 171-172
asidik, 97
asimetrik karbon, 1169
asit anhidritleri, 385, 1015
asit iyonlaşma sabiti, 700
asit iyonlaşması, 771
asit oksitler, 385, 385ş
asit tuz, 1002
asit yağmuru, 164ş, 1004
asit-baz davranışı, 727-732
asit-baz dengeleri
asit-baz indikatörleri, 759-762
çok protonlu asitlerin tuz çözeltileri, 770-771
hesaplamaların özeti, 771-772
nötralleşme tepkimeleri, 762-770
ortak iyon etkisi, 746-749
tampon çözeltiler, 750-762
titrasyon eğrileri, 762-770
asit-baz indikatörleri, 160, 161ş, 759-762, 761ş
asit-baz kavramları, 1213
asit-baz kimyası
Arrhenius kuramı, 161, 698
asit ve bazların iyonları, 723-727
asit-baz dengeleri. *bakınız* asit-baz dengeleri
Brønsted-Lowry kuramı, 161, 162, 698-703, 723
çok protonlu asitler, 717-722
kuvvetli asitler ve kuvvetli bazlar, 706-708
Lewis asit ve bazları, 732-735
molekül yapısı ve asit-baz davranışı, 727-732
pH eşeli, 703-706
suyun kendi kendine iyonlaşması, 703
zayıf asitler ve zayıf bazlar, 708-717
asit-baz kuvvetleri, 702, 702ş
asit-baz tepkimeleri, 160-165, 735, 792
asidik çözeltiler, 162
asit-baz indikatörleri, 160
asitler, 160-162, 163
asitlerin Arrhenius kuramı, 161
başka asit-baz tepkimeleri, 164, 165
bazik çözeltiler, 160-162, 163
bazlar, 162, 163
Brønsted-Lowry kuramı, 161, 162
eşitlikler, yazılışı, 165
gaz oluşturan tepkimeler, 164ş
kompleks iyonlar, 1095-1096
nötralleşme tepkimesi, 163
asit-baz titrasyonu, 178, 760
asitler, 91, 160-162, 161ş
aromatik asitler, 1186
Arrhenius kuramı, 161, 698
asidik çözeltiler, 162, 171-172
asit iyonlar, 723-727, 724ş
asit iyonlaşma sabiti, 700
asit-baz indikatörleri, 160
asit-baz kuvvetleri, 702, 702ş
asitlerin tanınması, 163
ayrıca bakınız asit-baz kimyası; özel asitler
Brønsted-Lowry asitleri, 733
Brønsted-Lowry kuramı, 161, 698-703, 723
çok protonlu asitler, 717-722, 718ç, 768-769, 769ş
çok protonlu zayıf asitlerin titrasyonu, 768-769, 769ş
çözeltide denge hesaplamaları, 720-722
derişimler, titrasyon verileri ile tayini, 179
eşlenik asit, 699
hidrolizleri, 724, 725, 726
ikili asitler, 727-729, 979
kelimenin kökü, 160

kuvvetler, etki eden faktörler, 730-731
kuvvetli asidin kuvvetli bazla titrasyonu, 765-768, 765ş, 768ş
kuvvetli asidin nötralleşmesi, 251
kuvvetli asidin suda çözünmeyen tuzu, 798
kuvvetli asitler, 160-161, 161ş, 251, 701ş, 706-708, 708ç
Lewis asitleri, 732-735, 943, 949, 10072, 1095
metallerin asitlere karşı davranışı, 877-878
nükleik asitler, 1292-1295
oksiasitler, 729, 990-993
organik asitler, 729-731
ortofosforik asit, 1016
pH eşeli, 703-706, 705ş
tanım, 160
tanınması, 1214-1215
tek protonlu asitler, 717
tuz çözeltilerinin pH sı, 725
uçucu asit, 930
uçucu olmayan asit, 930, 989
yağ asitleri, 1268, 1268ş
yükseltgen asit, 809
zayıf asidin iyonlaşması, 800
zayıf asidin kuvvetli bazla titrasyonu 762-765, 764ş, 765ş
zayıf asidin suda çözünmeyen tuzu, 798
zayıf asit ve tuzları, 748-749
zayıf asit-kuvvetli asit karışımları, 746-748
zayıf asitler, 161, 700ş, 708-717
aspirin, 713, 1188
aşırı doymuş çözelti, 569
aşırı gerilim, 897
aşırı soğuma, 521
-at soneki, 91
ataktik polimer, 1253, 1254ş
atmosfer (atm), 194, 201
atmosfer basıncı, 194–195, 195ş, 197
atom ağırlıkları, 48*n*
ayrıca bakınız atom kütlesi
atom ekonomisi, 148
atom fiziği, keşifler, 38–42
atom kuramı, 34ş, 37–38
atom kütlesi, 47, 48–51, 76
ağırlıklı ortalama atom kütlesi, 49
bağıl atom kütleleri, 55*n*
çizelgedeki değerler, 55*n*
çizelgesi, 50
izotopların kütleleri ve doğal bollukları, 50
mevcut atomların sayısı, belirlenmesi, 56–58
atom numarası (*Z*), 5, 44, 52, 1172
birinci iyonlaşma enerjisi, 375ş
periyodik çizelgenin temelleri, 363
atom orbital diyagramları, 477–478
atom orbitali örtüşmesi, 451, 451ş, 461
atom özellikleri, 381–385, 381ş, 918
bir grup içinde fiziksel özellikler, değişimi, 381–382
bir periyot boyunca fiziksel özellikler, değişimi, 382–383
element oksitlerin asit-baz doğası, 385
grup 1 ve grup 2 metallerinin indirgeme yetenekleri, 383–384
halojen elementlerinin yükseltgenme eğilimleri, 384–385
ve periyodik çizelge, 381ş
atom parmakizi, 358
atom simgeleri, 44
atom spektrumları, 300–302
helyum, 301*f*
hidrojen atomunun Balmer serisi,301, 301ş
hidrojen spektrumu, 301
ısıtımış cisim tarafından yayılan ışın, 302ş
atom yapısı
Bohr atom, 307–313
girişim, 298–299
atom yarıçapı, 367–368, 368ş
Bohr yarıçapı, 370
d-blok elementleri, 1033ş
değişim, periyodik çizelgede periyot içinde, 371
değişim,periyodik çizelgede grup içinde, 370–371
etkin atom yarıçapı, 367
geçiş elementleri, 1032
geçiş serisi içinde, 371
iyon yarıçapıyla karşılaştırılması, 374
van der Waals yarıçapı, 368
ve alkali metal elementlerinin birinci iyonlaşma enerjisi, 376ç
ve iyonlaşma enerjisi (*I*), 376
X-ışını verileri, kullanımları, 536–537
atomaltı düzey, 42
atomik kütle birimi, 44, 46, 1125
atomlar
akseptör atomlar, 483
aşırı soğutulmuş atomlar, 222
atom kuramı, 37–38
atom numarası, 44
atom özellikleri, 381–385
atom yarıçapı, 367–368, 368ş
ayrıca bakınız özel atomlar
bağıl kütleleri, 38
birim hücre başına atomların sayısı, 533–534, 534ş
Bohr atomu, 307–313
boş alan, 42
büyüklükleri, 367–373
çekirdek, 42
çekirdekli atom, 34ş, 42–44
çok elektronlu atomlar, 336–338
diyamanyetik, 379
donör atomlar, 483
izotoplar, 45
manyetik özellikler, 379–380
merkez atom, 408
merkez atom, 408, 409
nüklit, 45*n*
paramanyetik, 379
proton, nötron ve elektronların sayısı, 46
tanımı, 5
temel hal, 308, 343
top-çubuk modeli, 70–71
uyarılmış hal, 308, 343
uzaysal düzenlenmeleri, 70
aufbau işlemi, 340–342
Avogadro sabiti (*NA*), 54–56, 56–58, 74ç
Avogadro sayısı, 54, 56, 73, 117, 219
Avogadro yasası, 201–203
Avogadro, Amedeo, 202, 202ş
ayırma, 1082
ayna görüntüsü ile çakışma, 1080ş, 1082
ayna görüntüsü ile çakışmayan, 1080, 1080ş
ayna görüntüsü, 1082
aynı anda meydana gelen tepkimeler, 132–138, 136–137
ayrıca bakınız halojenler
ayrıca bakınız nükleofilik yerdeğiştirme tepkimeleri
ayrılan grup, 1211, 1214–1215
ayrılma tepkimesi, 1176, 1209, 1225–1234
alkoller, 1235–1239
ana ayrılma ürünü, tahmini,1228–1229
E1 tepkimesi, 1226–1228, 1226ş
E1, 1225
E2 tepkimesi, 1228
E2, 1225
geçiş hali, 1228
özet, 1230–1232, 1231ş
tahmini, 1232–1233
ayrımsal çöktürme, 795–797, 796ş
ayrımsal damıtma, 575–576, 576ş, 996ş
ayrımsal kolon, 576
ayrımsal kristallendirme, 569–570
ayrışma tepkimesi, 990
azeotrop, 577, 577ş
azot ailesi , 1004–1017
bakınız grup 15 elementleri
azot bileşikleri, 1007–1013
azot dioksit, 113, 831, 1010, 1012
azot monoksit, 90, 831, 1011–1012
azot triflorür, 1012
azot triklorür, 1013
azot, 1005
atomlar, organik bileşiklerde, 1194
azot gazı, 136
bileşikler, 1007–1013
elektrot potansiyel diyagramları, 1005ş
halojenürler, 1012–1013
hidrürler, 1009
keşfi, 35
kullanımları, 1006, 1006*t*
oksidi, 276
oksitler, 1009–1012, 1009*t*, 1010ç
oluşumu, 1006
üretimi, 1006
ve fullarenler, 953
ve hava, 6
yükseltgenme basamakları, 176ş
azür anyonu, 416ş

B

Bacon, Francis, 2
Badenhoop, J.K., 488*n*
Badische Anilin & Soda-Fabrik (BASF) yöntem, 116
bağ ayrışma enerjisi (BAE), 435, 450, 728
bağ çifti, 399, 427
bağ derecesi, 433–434, 467, 468, 472
bağ dipolü, 431, 496, 499–500
bağ enerjileri, 434–437, 468
bağ izleri, 486
bağ izomerliği, 1077, 1078ş
bağ kritik nokta, 487
bağ kuramı, 450–451
bağ polarlığı, 728
bağ uzunlukları, 433–434, 433ç, 450
bağ yapmayan çift, 399, 427
bağ yapmayan molekül orbitali, 473, 477
bağlanma *bakınız* kimyasal bağlanma
bağlantı çizgisi, 575
bağlayıcı molekül orbitali, 465
bağlayıcı molekül orbitalleri, 465ş
bakınız atom spektrumları
bakınız su
bakınız sülfürik asit
bakır arsenat, 786

bakır karbonat, 36ş, 36*n*
bakır sülfat, 901
bakır, 864ş, 1054–1056, 1055ç
  alaşımlar,1057
  blister bakırı, 1043
  çevirme, 1042–1043
  değerlik elektronu, 346
  derişim, 1042
  elektrot durumu, 900
  kural dışı elektron dizilişi, 342
  metalurji, 1042–1043
  nitrik asit, tepkime, 112ş
  patina, 36ş
  renk, fiziksel özellikleri, 4
  süper iletkenler, 1060
bakır(I) oksit, 851
bakır(II) karbonat dihidroksit, 92
bakır(II) oksit, 1060
bakır(II) sülfat, 7, 7ş, 1002
  yükseltgenme indirgenme tepkimesi, 167ş
Balmer eşitliği, 308
Balmer, Johann, 301, 358
Bancroft, Wilder, 588
band aralığı, 1058
band kuramı, 481–482, 481ş, 482ş
bar, 197, 201
barometre basıncı, 194–195, 518, 838
barometre, 194
Bartlett, Neil, 981
baryum karbonat, 1060
baryum klorür, 151–152
baryum lavmanı, 939
baryum nitrat, 151–152
baryum sülfat, 788, 939
baryum sütü, 788, 939
baryum, 364, 935
basamaklı (kondensasyon) polimerleşme, 1252–1253, 1253ç
basamaklı-tepkime polimerleşmesi, 1252–1253,1253ç
BASF (Badische Anilin & Soda-Fabrik) işlemi, 116
basınç birimleri, 197–198, 197ç
basınç faktörü, 227
basınç-hacim işi, 252–254, 253ş
basınç, 193
  atmosfer (atm), 194
  atmosfer basıncı, 194–195, 195ş, 197
  barometre basıncı, 194–195, 838
  basınç birimleri, 197–198, 197ç
  basınç-hacim işi, 252–254, 253ş
  bir katı tarafından uygulanan, 194ş
  buhar basıncı. *bakınız* buhar basıncı
  Dalton'un kısmi basınçlar yasası, 213,214ş
  değişimler(eşitlik için), 199
  denge kısmi ve toplam basınçları, 682, 684ş
  denge ve basınçta değişim, 675–677
  dış basınç, 253
  gaz basıncı, 193–198
  kilopaskal (kPa), 193
  kısmi basınç, 213, 214, 617
  kritik basınçlar, 519*t*
  manometreler, 195–197, 196ş
  milimetre civa (mmHg), 194
  newton (N), 193
  ölçümü, 195–197, 196ş
  osmotik basınç, 577–581
  paskal (Pa), 193
  sabit basınç, 260, 261ş, 676
  sıcaklık ve basıncın standart koşulları (STP), 201
  sıvı basıncı, 194, 194ş, 196
  standart-hal sıcaklığı, 264*n*
  süblimleşme basıncı, 521
  torr (Torr), 194
  ve gazların çözünürlüğü, 571–572, 571ş
basınçlı su reaktörü (PWR), 1131,1132ş
basit birim hücre, 530
basit süreç, 629
basit süreçler, 630
baş elektronik kabuk, 325–326
baş grup ametal iyonları, 366
baş grup elementleri, 53–54, 364, 376, 378ş, 1036–1037
baş grup metal iyonları, 365
baş kuantum sayısı, 324
başlangıç hızları yöntemi, 609–611
başlangıç tepkime hızı, 607–608, 609–611
baz anhidritleri, 385
baz eşleşme kuralları, 1293
baz iyonlaşma sabiti, 699, 723
bazik çözeltiler162, 172–174, 174ç
bazik kuprik karbonat, 92
bazik oksijen süreci,1045
bazik oksitler, 385, 385ş, 946
baziklik, 1213
bazlar, 90, 161ş
  aminler, 731–732
  Arrhenius tanımı, 162
  asit-baz indikatörleri, 160
  asit-baz kuvvetleri, 702, 702ş
  ayrıca bakınız asit-baz kimyası
  baz iyonlaşma sabiti, 699
  baz olarak iyonlar, 723–727, 724ş
  bazların tanınması, 163
  Brønsted–Lowry bazı, 730, 732, 992, 1214
  Brønsted–Lowry kuramı 162, 698–703, 723
  çözeltide denge hesapları, 720–722
  derişimler, titrasyon verileri ile, 179
  eşlenik baz, 699
  hidroliz, 724, 725, 726
  karşılaştırma nükleofil, 1213
  kuvvetli asidin kuvvetli bazla titrasyonu, 762–765, 764ş, 765ş
  kuvvetli bazlar, 161*t*, 162, 706–708, 708ç
  kuvvetli bir bazın sulu çözeltisinin pH sı, 707–708
  Lewis bazları, 732–735, 943, 994, 1072, 1095
  tanı, 162, 1214–1215
  tuz çözeltilerinin pH sı, 725
  zayıf asidin kuvvetli bazla titrasyonu, 765–768, 765ş, 768ş
  zayıf baz ve tuzu, 749
  zayıf bazlar, 162, 699ş, 708–717
Becquerel, Antoine Henri, 41, 1134
beklenmedik şeyleri tesadüfen bulma yeteneği, 3
belirli oranlar yasası, 36–37
belirsiz görüntü, 1099
belirsizlik durumu, 19
belirsizlik ilkesi, 314–317, 316ş
benzen buharı, 1180
benzen, 94, 573, 574, 932, 1191, 1244ş
  benzen molekülünde bağlanma, 474–476, 475ş, 476ş
  halojenleme, 1245–1246
  kritik nokta, 518ş
  nitrolama, 1245
benzendiazonyum klorür, 652
benzer yüklü nesneler, 46
benzil grubu, 1180
benzin, 512, 564, 1161
benzinli otomobil, 863
benzoik asit, 1186
beril, 933, 933ş
berilyum oksit, 979
berilyum, 482, 933–934, 935, 936, 950, 977
Berthelot, P., 820–821
Berzelius, J.J., 1147
Bessemer dönüştürücü, 1044
beta (β) parçacıkları, 1112–1113
beta parçacıkları, 41, 42ş
beton blok, 938
beyaz fosfor, 1013, 1014ş
beyaz ışık, 300ş
beyaz kurşun, 967
beyaz safir, 949
bifenil grubu, 1180
bikarbonat tampon sistemleri,759
bilester bakırı, 1043
bileşikler
  ağ örgülü kovalent bileşikler, 977
  anorganik bileşikler, 86–93
  ara bileşik, 891
  azot bileşikleri, 1007–1013
  bileşiklerin adlandırılması, 86–87
  bileşiklerin adlandırılması, formüller verildiğinde, 89
  bileşimi, 76–84
  bir bileşiğin molü, 73–75
  çeşitleri, 69–72
  çizgi-açı formülü, 70
  formül kütlesi, 73
  fosfor bileşikleri, 1014–1017
  grup 1 bileşikleri, 924–933
  grup 14 bileşikleri, 966–967
  grup 15 bileşikleri, 1007–1013, 1014–1017
  grup 16 bileşikleri, 999–1003
  grup 2 bileşikleri, 936–939
  halojenler arası bileşikler, 993–994, 993ç
  hidrojen bileşikleri, 1018–1020
  ikili bileşikler, 87–90
  iyonik bağlar, 69
  iyonik bileşikler. *bakınız* iyonik bileşikler
  kaba formül, 69
  katılma bileşiği, 732
  kimyasal formüller, 68, 69–72
  kimyasal formüller, adları verildiğinde, 88
  koordinasyon bileşikleri, 800, 1070–1072
  kovalent bağlar, 69
  kovalent bileşikler, 1034–1035
  kükürt bileşikleri, 1000–1003
  kütlece yüzde bileşimi, 78–79
  metaller arası bileşikler, 558*n*
  mol kavramı, 73–76
  molekül bileşikler, 69–71, 153
  molekül formülü, 69
  molekül kovalent bileşikler, 977
  oksijen bileşikleri, 999–1000
  organik bileşikler. *bakınız* organik bileşikler
  ortak özelliği, 68
  su varlığında, 93
  susuz bileşikler, 93
  tanımı, 5
  tanınması, tepkime kimyasının açıklamasından, 940–941
  üçüncül bileşikler, 91
  yanma analizi, 82–84
  yapı formülü, 69–70

yoğun yapı formülü, 70
yükseltgenme basamağı, 84–86
yüzde bileşim, 77–81
bileşiklerin adlandırılması, 86–87
aromatik hidrokarbonlar, 1180–1181
birden fazla işlevsel gruplu, 1191–1192
çeşitli uygulama kuralları, 92
E, Z sistemi, 1178–1179
enantiyomerler, 1171–1175
inorganik bileşikler, 86–93
koordinasyon bileşikleri, 1075–1076
organik bileşikler, 94–100, 1149–1151
polipeptit, 1281
R, S sistemi, 1171–1175
sikloalkanlar, 1162
sübstitüentlerin öncelikleri, 1172–1174
bileşim, 4
bileşimde değişim, 5
bileşimin kütlece yüzde bileşimi, 78–79, 80–81
bilgisayar ekranı, 39
bilimsel ölçümlerdeki belirsizlikler, 18–19
bilimsel yöntem, 2–3, 3ş
bir proteinin üçüncül yapısı, 1284, 1284ş
bira yapımı, 759
birim hücre, 530, 531ş, 540, 541ş
birinci dereceden tepkimeler, 610, 612–619, 1119–1120
gazları içeren tepkimeler, 616–618
integrali alınmış hız yasası, 613–615
kısmi basınç, 617
örnekleri, 618
tipik birinci dereceden tepkimeler, 618ç
tüketilen tepkenin kesri veya yüzdesi, 616
yalancı birinci dereceden tepkimeler, 620
yarı ömür, 615
birinci iyonlaşma enerjisi, 375, 375ş
birinci sıra geçiş metal elementleri, 1046–1052
birincil alkol, 1181, 1185
birincil değerlik, 1071
birincil elektronlar, 1134
birincil hidrojen atomları, 1151
birincil karbon, 1151
birincil piller, 888, 891
birincil renkler, 1090–1091
birleşik gaz yasası, 206
birleşik hacimler yasası, 210–212
bitkisel yağlar, 1019ş
bitümlü kömür, 275
biyodizel, 280
biyokütle, 276, 1278
biyolojik süreçler
kenetlenme tepkimeleri, 851
nitrik oksit, 1010–1011
biyolojik tamponlar, 759
biyoyakıtlar, 280
bizmut (III) oksit, 1006
bizmut, 1005, 1006
Bohem kristali, 964
Bohr modeli, 307–313
hidrojen atomu, 308ş
hidrojenin iyonlaşma enerjisi, 311–312
kullanımı, 312
tahmini, 308
temel hata, 316
ve spektroskopi, 310–311
yetersizlikleri, 312–313
Bohr yarıçapı, 370
Bohr, Niels, 307, 307*f*, 315, 315ş, 344
boksit, 946, 947ş
Boltzmann dağılım yasası, 303
Boltzmann sabiti, 303, 822
Boltzmann, Ludwig, 303, 822
bomba kalorimetresi, 249–250, 249ş, 259
bor bileşikleri, 942–944
bor halojenürler, 943, 944
bor hidrürleri, 942
bor, 49, 455, 918, 941–945, 1000
elektron eksikliği, 941
silisyumla çapraz ilişki, 964
boraks, 942
borat tuzları, 943
borazin, 496
borik asit, 942–943
Born-Fajans-Haber çevrimi, 542, 555
Born, Max, 320, 542
boş yer (atomda), 42
boşluklu bileşikler, 1007
boşluklu karbürler, 957
Boyle yasası, 198–199, 199ş, 204, 217–218, 226–227
Boyle, Robert, 2, 198
boyut analizi, 9
bozunma bileşikleri, 7
bozunma tepkimesi, 116
bölgesel arıtma, 1038–1040, 1040ş
bölme
anlamlı sayılar kuralları, 20, 22
ve yüzdeler, 17–18
brom, 37, 269ş, 348, 382, 735, 988, 989
bromamin, 731
bromasetik asit, 736–738
brombenzen, 1245
bromlu su, 1177
Bromtimol mavisi, 760
Brønsted–Lowry asitleri, 733
Brønsted–Lowry bazı, 730, 732, 992, 1214
Brønsted–Lowry kuramı, 161, 162, 698–703, 723, 1095
Brønsted, Johannes, 160, 161, 698
bronz, 965, 1055
bucky topu, 528
buhar basıncı eğrisi, 512, 513ş
buhar basıncı, 511–516, 512ş, 573–577
ayrımsal damıtma, 575
Clausius-Clapeyron eşitliği, 515–517
çözeltiler, 573–577
denge koşulu, 656
düşmesi, 581ş, 582
eğri, 581
eşitlik, 512
ideal çözeltiler, 573–575
ideal gaz eşitliği, 514
ölçülmesi, 513–514
Raoult yasası, 573
sıvı-buhar dengesi, 573–575, 575ş,576–577, 576ş
suyun, farklı sıcaklıklarda, 513ç
uçucu olmayan çözünen, 581ş
uçucu, 512
veri, kullanımı, 514–515
buhar damıtması, 599
buhar-demir işlemi, 669
buhar, 518
ayrıca bakınız gazlar
buhar, 956
yoğunlaşması, 511
buharlaşma entalpisi, 510–511, 510ç, 554
buharlaşma, 510–511, 925
buharlaşma, 510–511
buharlaşma entropisi, 827
süreci, 825
suyun, 838
Bunsen beki, 301
Bunsen, Robert, 301
buz, 498
açık yapısı, 503, 503ş
buzun erimesi, 825
entropi değişimi, 832–833
erime eğrisi, 525
kuru buz, 521
makroskobik ve mikroskobik bakışlar, 8ş
polimorfizm, 524
süblimleşme basıncı, 521
büret, 177–178
bütan, 71ş, 94, 95, 1149, 1151, 1157–1158,1158ş
bütil alkol, 565
bütil aminler, 1191
bütirik asit, 712

C

Cahn, R.S., 1171
Calvin, Melvin, 956, 1277
cam elektrot, 886ş, 887–888
cam yapımı, 963–964
cam, 962
canlı madde
elementleri, 1267ş
fosfolipidler, 1271
hidrojen bağı, 505
hücre zarları, 1271, 1271ş
hücre, 1267
iyonlaştırıcı ışın, etkisi, 1135
karbonhidratlar, 1271–1278
katı yağlar, 1269, 1269ç
kimyasal yapısı, 1267
lipitler, 1268–1271
metabolizma, 1286–1292
nükleik asitler, 1292–1295
proteinler, 1279–1285
sıvı yağlar, 1269, 1269ç
trigliseritler, 1268
yağ asitleri, 1268, 1268ç
Cannizzaro, Stanislao, 238
Cartledge, G.H., 919
Cavendish, Henry, 979
Celsius, 10–12, 200
Cerenkov ışıması,1131ş
cevher, 165
Chadwick, James, 43
Chargaff, Erwin, 1293
Charles yasası, 199–201, 204, 222
Charles, Jacques, 199
cis isomerler, 1077, 1079ş, 1163–1164, 1167, 1228
cis-1,4-dimetilsikloheksan, 1167
cis-trans isomerliği, 1163–1164
cisplatin, 1097–1098
civa barometresi, 195, 512ş
civa, 215, 509ş, 807, 1056–1058, 1056ç
civa barometresi, 195
civa buharı, 1057
klor alkali işlemleri, 902–903, 903ş
oda sıcaklığında, 52
yoğunluk, 14
zehirlenme, 1058
Claus işlemi, 826
Clausius-Clapeyron eşitliği, 515–517, 627, 850
Compton etkisi, 305
Elektron yoğunluğu çevre eğrisi haritası 486, 486ş
Copernicus, Nicolas, 2

Corey, R.B., 1282
coulomb (C), 40
Coulomb yasası, 375, 529
Cremer, Max, 888
Crick, Francis, 1293
Curie, Marie Sklodowska, 42, 998, 1116
Curie, Pierre, 42, 998
cüruf, 938, 1044–1045, 1050

Ç

çakışık konformasyon, 1156, 1157
çamur banyosu, 584
çapraz ilişki
  berilyum ve aluminyum, 950, 977
  bor ve silisyum, 964
  lityum ve magneyum, 940
çapraz konformasyon, 1156
çapraz konformasyon, 1159
çarpık konformasyonlar, 1156
çarpışma frekansı, 622–623
çarpışma kuramı, 622–624
çarpma
  anlamlı sayı kuralları, 20, 21ş, 22
  yüzde, 17–18
çekirdek bağlanma enerjisi, 1126–1127, 1126ş
çekirdek bombardıman tepkimeleri, 1117–1118
çekirdek elektronları, 375
çekirdek eşitliği, 1112
çekirdek fisyonu, 1130–1133
çekirdek füsyonu, 1133–1134
çekirdek kararlılığı, 1128–1130
çekirdek kimyası
  alfa (α) parçacıkları, 1112
  analitik kimya, 1138–1139
  besleyici nükleer reaktörler, 1133
  beta (β) parçacıkları, 1112–1113
  çekirdek bağlanma enerjisi, 1126–1127, 1126ş
  çekirdek bombardıman tepkimeleri, 1117–1118
  çekirdek eşitliği, 1112, 1115
  çekirdek fisyon, 1130–1133
  çekirdek füzyon, 1133–1134
  çekirdek kararlılığı, 1128–1130
  çekirdek tepkimeleri, 1117–1118, 1125–1128
  çekirdek tepkimelerin enerjileri, 1125–1128
  doğal radyoaktif izotoplar, 1115–1117
  Dünyanın yaşı, 1123–1124
  elektron yakalama (EC), 1113
  füsyon reaktörü, 1134
  gama (γ) ışınları, 1113, 1113ş
  iyonlaştırıcı ışıma, ve canlı, 1135
  ışımanın madde ile etkileşmesi, 1134–1137, 1135ş
  jeokronoloji, 1124–1125
  kabuk kuramı, 1128
  kanser terapisi, 1137
  modern radyoaktif yaş tayini, 1124–1125
  nükleer reaktörler, 1131–1133
  nükleon başına bağlanma enerjisi, 1127–1128, 1128ş
  radyasyon dozu, 1136–1137
  radyasyon işlemi, 1139
  radyoaktif bozunma hızı, 1119–1125
  radyoaktif bozunma serileri, 1116, 1116ş
  radyoaktif bozunma yasası, 1119, 1120–1121
  radyoaktif tarayıcılar, 1137–1138
  radyoaktiflik, 1112–1115
  radyoizotoplar, uygulamaları, 1137–1139
  radyokarbon yaş tayini, 1122–1123
  sihirli sayılar, 1128, 1128ç
  sıvı metal soğutuculu hızlı besleyici reaktör (LMFBR), 1133
  tarif, 1111
  transuranyum elementleri, 1118
  yapay kaynaklı radyoaktiflik, 1117–1118
  yapılar ve kimyasal tepkimelerin mekanizmaları, 1138
çekirdek tepkimeleri, 1117–1118, 1125–1128
çekirdek, 42
  alfa (γ) parçacıkları, 1113–1114
  parçalanma, 1128
çekirdek, 45*n*, 1115, 1128ç, 1129ş, 1133, 1145
çekirdekler arası uzaklık, 450
çekirdekler, 1130
çelik üretimi, 1045
çelik, 901, 1048
  metalurji, 1044, 1045–1046
Çernobil nükleer reaktörü, 1131, 1132, 1140
çevirme faktörü, 9
  atomik kütle birimleri ve joule, 1125
  Avogadro sabiti, 74ç
  mol kütlesi olarak, 74ç
  mol, kullanımı, 56
  şiddet özelliği, 14
  stokiyometrik hesaplamalarda, 121–122
  yoğunluk olarak, 14, 74ç
  yüzde bileşim, 17–18
çevirme yolu, 9
  bilinen a dan bilinmeyen b ye,117
  özet, 57–58
  sonuç, 14
  yoğunluk, 14–16
çevirme, 1042–1043
  bitki maddelerinden fosil yakıtlarına, 1278
  Celsius ve Kelvin, 200
  Fahrenheit ve Celsius, 11–12
  gram olarak verilen kütlenin mol miktarı, 74
  kesirleri tamsayıya dönüştürme, 81
  stokiyometrik hesaplamalarda, 120
Çevre Koruma Teşkilatı, 1137
çevre sorunları
  asit yağmuru, 164ş, 1004
  duman, 635–636, 1003–1004
  fosfat kirliliği, 811
  hidrojen ekonomisi, 1020–1021
  iklimsel değişim, 278
  kullanılan fosil yakıtları, 276
  küresel ısınma, 276–278
  radon, 1137
  sera gazları, 276, 278
  yakıt hücreleri, 893
  yakma cihazları, yakma 113
çevre, 242, 242ş
çevrilme tepkimeleri, 1210
çevrim, 318
çıkarma
  anlamlı rakam kuralları, 22–23
  mutlak hata, 20
çiftlenimli tepkimeler, 851–852
çiftler, 866
Çin gülü, 1246ş
çinko blend, 212
çinko-klor pili, 872–873
çinko, 864, 864ş, 901, 1050, 1056–1058, 1056ç
  arıtma, 1038
  hidrometalurji, 1043–1044
  kimyasal özellikler, 5, 5ş
  korozyon, 895
  metal, ve sulu hidroklorik asit , 140
  yükseltgenme indirgenme tepkimeleri, 167ş
çizgi kama gösterimi, 422–423
çizgi spektrumları, 300–302
çizgi yapıları, 1149
çizgi yapısı, 70
çizgi-açı formülleri, 1149
çizgi-açı formülü, 70
çok atomlu iyon, 72, 84, 90–91, 91ç, 398, 409, 411–412
çok atomlu moleküller, 421
çok basamaklı işlem, 138
çok dişli ligant, 1073, 1073ç
çok elektronlu atom
  girinim, etkisi, 369–370
  perdeleme, etkisi, 369–370
çok elektronlu atomlar, 336–338
  etkin çekirdek yükü, 338
  girinim, 336–338
  perdeleme, 336–338
çok protonlu asitler, 717–722, 718ç
  çok protonlu asit tuzlarının çözeltileri, 770–771
  çok protonlu zayıf asitlerin titrasyonu, 768–769, 769ş
çoklu bağlar, 1173, 1176
çoklu kovalent bağlar, 401, 428–429, 461–465
  asetilen, 462–464
  deneysel veri, kullanımı, 464
  etilen, 461–462, 462ş
  orbital örtüşmesi, 461
  pi (π) bağı, 461ş, 462, 462ş, 463
  sigma (σ) bağı, 461ş, 462, 462ş, 463
çökelek, 156
  amonyum sülfür grubu çökelekleri, 805
  karbonat grubu çökelekleri, 805
  klorür grubu çökelekleri, 806–807
  sülfür grubu çökelekleri, 805
çökelme tepkimeleri, 156–160
  çökelek, 156
  net iyonik eşitlikler, 157
  öngörü, 157–159
  öngörüler, 158ş
  yaygın iyonik katılar için çözünürlük kılavuzu, 158ç, 159
çökelme, 151–152, 588
  ayrımsal çökelme, 795–797, 796ş
  çökelme testleri, 806
  hidrometalurji, 1043
  iyon derişimleri, kontrolü, 799
  iyonlaşma dengesi, 798
  kısmen çözünen çözünürün, 794
  kompleks iyonların çözeltisi, 802–803
  kompleksleştirme reaktifi, 802–803
  kriteri, 792–795
  tamamlanması, 792–795
çözelti entalpisi, 562–563
çözelti molaritesi, 111
çözelti oluşumu
  aşırı doymuş çözelti, 569
  ayrımsal kristallendirme, 569–570
  çözeltinin entalpisi, 562–563
  çözünürlük, sıcaklığın fonksiyonu olarak, 569
  doymamış çözelti, 569
  doymuş çözelti, 568, 568ş

ekzotermik süreç, 567, 569
endotermik süreç, 567
entalpi diyagramı, 563ş
ideal çözeltiler, 563–564, 564ş
ideal olmayan çözeltiler, 564, 564ş
iyonik çözeltiler, 566–567
moleküllerarası kuvvetler, 562–569
öngörülmesi, 565
ve denge, 567–570
yeniden kristallendirme, 569–570
çözelti stokiyometrisi,111
çözeltiler
alaşımlar, 558, 558*n*
asidik çözeltiler, 171–172
aşırı doymuş çözelti, 569
ayrıca bakınız karışım
bazik çözeltiler, 172–174, 174*t*
buhar basınçları, 573–577
çok protonlu asitlerin tuzları, 770–771
çözelti oluşumu. *bakınız* çözelti oluşumu
çözeltideki tepkimelerin stokiyometrisi, 128
çözeltilerde iyonik tepkimeler, 273–275
çözeltilerin türleri, 558
çözücü, 123, 558
çözünenler. *bakınız* çözünenler
çözünürlük. *bakınız* çözünürlük
derişik çözelti, 126, 558
derişim, 558–562
donma noktası alçalması, 581–584, 582ç,585
doymamış çözelti, 569
doymuş çözelti, 568, 568ş
elektrik, iletilmesi, 152ş
elektriksel iletkenlik, 153
elektrolit çözeltiler, 584–587
elektrolit olmayan çözeltiler, 581–584
gaz, 6
hacim yüzdesi, 558–559
hacim, stokiyometrik hesaplamalarda, 122
hipertonik çözelti, 580
hipotonik çözelti, 580
ideal çözeltiler, 563–564, 564ş, 573–575
ideal olmayan çözeltiler, 564, 564ş
iyonik çözeltiler, 566–567
iyonlar arası çekimler, 586–587, 587ş
izotonik çözelti, 580
katılar, 6
kaynama noktası yükselmesi, 581–584, 582ç
kimyasal tepkimeler, 123–128
kısmen iyonlaşmış çözünen, 152, 153
kolligatif özellikler, 584–586
kütle yüzdesi, 558–559
kütle/hacim yüzdesi, 558–559
milyarda bir, 559
milyonda bir, 559
mol kesri, 559, 561–562
mol yüzdesi, 559
molalite, 560–561
molarite, 123–125, 559, 561–562
moleküller arası kuvvetler, 562–569, 563ş
osmotik basınç, 577–581
osmoz, 578, 578ş
renkli çözeltiler, 1092
seyreltik çözelti, 126, 558, 579, 582
seyreltme, 126–127, 126ş, 127ş
sıvılar, 6
sodyum tiyosülfat çözeltileri, 1022
standart, 178, 180–181, 180ş
stok çözeltiler, 126
sulu çözelti. *bakınız* sulu çözelti
tamamen iyonlaşmış çözelti, 152–153
tanımı, 6
terimler, 558
trilyonda bir, 559
tuz çözeltilerinin pH sı, 725
van't Hoff faktörü, 586, 587*t*
yaygın çözeltiler, 558*t*
yoğunluk, stokiyometrik hesaplamalarda, 122
yüzde bileşim, stokiyometrik hesaplamalarda, 122
zayıf asitler ve tuzları, 748–749
zayıf ve kuvvetli asitlerin, 746–748
zayıf bazlar ve tuzları, 749
çözeltilerde iyonik tepkimeler, 273–275
çözeltilerin oluşumu. *bakınız* çözelti oluşumu
çözücü, 123, 558, 570–571
çözünen iyonik bileşikler, 153
çözünen iyonik hidroksit, 162
çözünenler, 123, 126
az çözünen maddenin çökelmesi, 794
az çözünen maddenin çözünürlük çarpımı sabiti, 787–788
çözünen kütlesi, 559
çözünenin iyonlarına kısmen ayrışması, 791–792
çözünürlük çarpımı sabiti ifadeleri, 786
çözünürlük, 568
elektrolit olmayanlar, 152
elektrolitler, 152
kısmi iyonlaşmış çözünen, 152, 153
molar çözünürlük, 786–788
sınıflandırma şeması, 153ş
tamamen iyonlaşmış çözelti, 152–153
tanımı, 558
çözünme, 564
çözünmeyen iyonik bileşikler, 160
çözünmeyen katılar, 14, 156, 157
çözünürlük çarpımı sabiti ($K_{çç}$), 785–788, 785ç, 790–792, 884
çözünürlük çarpımı sabiti ($K_{çç}$), 785–788, 785ç
aynı anda meydana gelen denge, 792
çözünenin iyonlarına tam olmayan ayrışması,791–792
kısmen çözünen maddenin, 787–788
ölçümü, 884
sınırlayıcılar kavramı, 790–792
ve molar çözünürlük, 786–788
volta pilleri, 885
çözünürlük dengeleri, 788–790, 793, 807
çözünürlük eğrisi, 568
çözünürlük eğrisi, 568
çözünürlük, 568
ayrımsal çöktürme, 795–797, 796ş
çökelme kriterleri, 792–795
çökelmenin tamamlanması, 792–795
çözünürlük dengelerine ortak iyon etkisi, 788–790, 789ş
denge koşulu, 656
gazlar, 570–572
Henry yasası, 571–572
kalitatif katyon analizi, 805–809
kompleks-iyon dengeleri, 799–804
Molar çözünürlük, 786–788
sıcaklığın fonksiyonu olarak, 569
tuz etkisi, 791, 791ş
ve basınç, 571–572, 571ş
ve pH, 797–799
yaygın iyonik katılar için kılavuz, 158ç, 159

D

d orbitalleri, 330–333, 332ş
d-blok elementleri, 344, 346, 1033ş
dağılım sabiti, 656
dağılma kuvveti, 499
dalga fonksiyonlarının Born yorumu, 320, 327
dalga fonksiyonu, 318–324
açısal dalga fonksiyonu, 324, 327ç
analizi, 324
Born yorumu, 320, 327
çok elektronlu atom, 369–370
düğümler, 330
hidrojen atomunun, 323–324
kutuda taneciğin, 321, 321ş
orbital-dalga fonksiyonları, 336
orbitaller, 324
radyal dalga fonksiyonu, 324, 327ç
dalga mekaniği, 317–324
dalga fonksiyonu, 318–324
durağan dalgalar, 317–318, 317ş, 318, 318ş
geçiş enerjisi, 322
kuantum parçacıkları, 318–322
kutuda tanecik modeli, 318–322
olasılıklar, 321, 321ş
Schrödinger eşitliği, 323–324
sıfır noktası enerjisi, 320
dalga paketi, 315
dalga-parçacık ikiliği, 313–314, 1114
dalga
ayrıca bakınız dalga mekaniği
çapraz dalgalar, 296
dalga hareketi, 295ş
durağan dalgalar, 317–318, 317ş,318, 318ş
elektromanyetik dalgalar, 295, 296ş, 298–299
elektronların özellikleri, 314ş
gezen dalgalar, 317
ışığın doğası, 298
kırınım, 299
klasik dalga kuramı, 303
madde dalgaları, 314, 318ş, 320
radyo dalgaları, 295
ses dalgaları, 295, 296
sismik dalgalar, 295
su dalgaları, 295
dalgaboyu, 295, 296, 297
foton dalgaboyları, 322
hidrojen spektrumunda bir çizginin, 310
madde dalgasının, 320
parçacık demeti ile ilişkili, 315
dalgasayısı, 1205–1206
dallanmış zincirli hidrokarbonlar, 1151
Dalton atom kuramı, 34ş, 37–38
Dalton kısmi basınçlar yasası, 213, 214ş, 821
Dalton, John, 37, 38ş, 47, 48*n*, 54, 201, 213
damıtma, 6, 7*f*, 573
artımsal damıtma, 575–576, 576ş, 996ş
buhar damıtması, 599
kok damıtımı, 954
dart tahtası benzetmesi, 337ş
Davisson, C.J., 314
Davy, Humphry, 697
de Broglie, Louis, 313–314, 313ş
debye, 430, 501
Debye, Peter, 587
değerlik bandı, 481
değerlik elektron kabuğu, 365
değerlik elektronları, 341, 346, 375

değerlik kapasitesi, 1071
değerlik-bağ yöntemi, 451–452, 460, 475ş
değerlik-kabuğu elektron-çifti itmesi (VSEPR), 421–423
  balon benzetmesi, 422ş
  birden fazla merkez atomu olan moleküller, 429–430
  çoklu kovalent bağlı molekül biçimi, 428–429
  delokalize molekül orbitalleri, 476
  dörtyüzlü elektron-grup geometri, 455
  elektron grupları, odaklanma, 422
  elektron-grup dağılımları, olasılıklar için, 423–428
  elektron-grup geometri, 423–424, 424ş,425–426ç
  geometrik biçimin öngörülmesi, 427–428
  gösterim AXn, 424–427
  karşılaştırma değerlik-bağ yöntemi, 460
  molekül geometrisi, tahmini, 485
  uygulamaları, 428
  ve melez orbitalleri, 458–460
  ve nicel bilgi, 450–451
değişim çizelgesi, 679, 681
dehidrasyon tepkimesi, 1236–1237
dejenere, 326
deka-öneki, 89
dekstro- öneki, 1272
dekstrorotatori, 1082, 1272
delikler, 531, 538ş
delokalize elektronlar, 731
delokalize elementler, 474–480
  atom orbital diyagramları, 477–478
  benzen molekülünde bağlanma, 474–476, 475ş, 476ş
  delokalize molekül orbitalleri, 476–480
delokalize molekül orbitalleri, 476–480
delta (δ), 116, 245
demir mavisi, 1053
demir oksit, 589ş
demir sülfür, 1042
demir, 166, 536–537, 1052, 1057
  çelik yünü ve O_2 ile tutuşması, 112ş
  demirin doğrudan indirgenmesi (DRI), 1045
  galvanize demir, 1057
  kimyasal simgesi, 44
  korozyon, 895, 895ş
  metalurji, 1044–1045
  önerilen günlük miktar, 60
  termit tepkime, 166ş
demir(II) iyonu, 87
demir(II) klorür, 87, 894
demir(III) fosfatlar, 1017
demir(III) iyonu, 87
demir(III) klorür, 87, 1017
demirin doğrudan indirgenmesi (DRI), 1045
denatürasyon, 1282
deneyler, 2
denge durumu, 658ç
denge sabiti *(K)*, 656, 658, 849ç
  alkali metal iyonlarının tepkimesi, 931–932
  asit iyonlaşma sabiti, 700
  baz iyonlaşma sabiti, 699
  belirlenmesi, standart Gibbs enerji değişiminden, 847–848
  birleştirme, 797–798
  büyüklüğü, 669–670
  denge sabiti ifadesi, 656–663
  elektrokimya, 874–880
  gazlar, 665–667
  genel tepkimeleri, 669ç
  sıcaklığın fonksiyonu olarak, 848–851, 850ş
  van't Hoff eşitliği, 850–851
  ve aktiflikler, 659–660
  ve Gibbs enerji değişimi, 841
  ve hız sabitleri, 662
  ve sıcaklık, 709
  ve standart hücre potansiyeli, 878–879
denge sabiti ifadesi, 656–663
  birleştirme, 664–665
  bölen, 669
  denge sabiti ve aktiflikler, 659–660
  denge sabiti ve hız sabitleri, 662
  denkleştirilmiş kimyasal eşitliğin K ile ilişkisi, 663–664
  K için genel ifade, 660–661
  K nın referans haline bağlılığı, 667
  saf katı ve sıvıları içeren tepkimeler, 668–669
  tepken ve ürünlerin denge derişimleri, 661
denge sabitinin büyüklüğü, 669–670
denge
  anlamı, 659
  asit–baz dengeleri. *bakınız* asit–baz dengeleri
  basınç, değişimler, 675–677
  başlangıç koşullarından denge derişimi, 683–684
  çözeltide denge hesaplamaları, 720–722
  çözünürlük dengesi, 788–790, 793, 807
  değişim çizelgesi, 679, 681
  denge çalışmalarında klasik deneyler, 694–695
  denge durumu, 658ç
  denge koşullarının değişimi, 673–676
  denge sabiti. *bakınız* denge sabiti *(K)*
  dinamik denge, 511, 585, 656, 657
  gazlar, 665–667
  Gibbs enerji değişimi, 837–848, 842ş
  hacim, değişim, 675–677
  hesaplamalar, örnekleri, 679–685
  heterojen denge, 844
  isteklilik, kimyasal işlemlerde, 620
  iyonlaşma dengesi, 798
  katalizör, etkisi, 678–679
  katılar, 667–669
  kısmi ve toplam basınçlar, 682, 684ş
  kompleks-iyon dengeleri, 799–804
  Le Châtelier ilkesi, 569
  maddelerin başlangıç ve denge miktarları, 681
  maddelerin denge miktarları, 679–680
  sabit ifadeleri, 632
  sabiti. *bakınız* denge sabiti *(K)*
  sıcaklık, etkisi, 677–678
  sıvı buhar dengesi, 512ş, 573–575, 575ş, 576–577, 576ş, 839ş
  sıvılar, 667–669
  standart koşullar altında önemli bağıntıların özeti, 879ş
  tepken türlerinin miktarları, değişiminde, 673–675, 674ş
  tepken ve ürünlerin derişimleri, 661
  tepkime oranı, 670–672, 684–685
  termodinamik denge sabiti, 844–848
  üç yaklaşım, 658ç, 659ş
  ve çözelti oluşumu, 567–570
deniz bitkileri, 988
deniz suyu, 6, 13, 156
  buharlaşma, 925
  magnezyum metali, özütlenmesi, 156–157
  tuzdan arındırma, 580ş, 581
deniz yosunu, 988
denkleştirilmiş eşitlik, 113
denkleştirilmiş redoks tepkimesi, 868
denkleştirilmiş, 113*n*
2-deoksiriboz, 79
deoksiribonükleik asit. *bakınız* DNA
deri, 1049
derin deniz dalışı, 572, 980
derişik çözelti, 126, 558
derişik sülfürik asit, 1001, 1246
derişik tamponlar, 758
derişim hücreleri, 883–884, 883ş, 885ş
derişim
  ayrıca bakınız asit ve bazların molaritesi
  bakır, 1042
  başlangıç koşullarından denge derişimleri, 683–684, 684ş
  çok protonlu asit çözeltisinde iyon derişimleri, 719–720
  çözeltiler, 558–562
  derişimlerin fonksiyonu olarak standart hücre potansiyeli, 880–888
  etkin derişim, 790
  hacim yüzdesi, 558–559
  hidrometalurji, 1043
  kütle yüzdesi, 558–559
  kütle/hacim yüzdesi, 558–559
  kuvvetli bir asidin sulu çözeltisinde iyon derişimleri, 706–707
  milyarda bir, 559
  milyonda bir, 559
  mol kesri, 559, 561–562
  mol yüzdesi, 559
  molalite, 560–561
  ortak iyon derişimi, 790
  stokiyometrik derişimler, 587,752–753, 756, 790
  sülfürik asit çözeltilerinde iyon derişimleri, 721
  tepken ve ürünlerin denge derişimleri, 661
  tepkime hızı, etkisi, 608–611
  trilyonda bir, 559
  üretim metalurjisi, 1037
  ve titrasyon verileri,179
desikatör, 599–600
desimetreküp (dm^3), 12
desorpsiyon, 638
deterjan, 932, 933ş
dış basınç, 253
dışlayıcı karışım, 1090, 1091, 1091ş
dışsal yarı iletkenler, 483
di- öneki, 89
di-*t*-butyl peroksit (DTBP), 616, 617ş
diastereomerler, 1169, 1274
diazot diflorür, 1013
diazot pentoksit, 853
diazot tetraflorür, 1013
diazot tetroksit, 679–680, 683
diboran, 942, 942ş
dielektrik sabiti, 915
dietil eter, 512, 1183–1184
diflorür, 988
difosforik asit, 1016
difüzyon, 223, 223ş
  gaz difüzyonu, 224–226
  tepkenlerin, 638
  uygulamaları, 224–226
dihedral açı, 1157*f*

dihidrojen fosfat, 91
dikarboksilli asit, 101
dikitler, 939
dikromat tuzu, 1049
dikromatlar, 878, 1049
dimerler, 504, 948, 986, 1252
dimetilamin, 1191
dimetilglioksim, 491
dimetilsilanol, 962
dinamik denge, 511, 585, 656, 657
dioksijen, 416, 472
dioller, 504, 1182
dipol momentler, 430–431, 432ş
dipol-dipol çekimleri, 502
dipol-dipol etkileşimleri, 500, 501ş
dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri, 566
diprotik asit, 782, 807
disakkaritler, 1276
Discovery uzay mekiği, 111ş
disübstitüe sikloalkanlar, 1163–1164, 1168
diş amalgamı, 558*n*
dişler, 669
diyafram hücre, 902, 903ş
diyaliz, 589ş
diyamanyetik, 379, 1088
DNA(deoksiribonükleik asit), 79, 1292–1295
  hidrojen bağı, 505, 505ş
  ikili sarmal, 1293
  model, 1294ş
  replikasyon, 1294, 1295ş
dodesilbenzen, 1181
doğa yasaları, 2, 35, 216
doğal bolluk yüzdesi, 45
doğal bolluklar, 50
doğal gaz, 224, 275
Doğal kurşun oksiti, 966
doğal radyoaktif izotopların oluşumu, 1115–1117
doğal yarı iletken, 483
dolomit, 786
domeins,1036
donma noktası alçalması, 581–584,582ç, 585
donma noktası, 520
donma, 520, 832–833
donmuş su. *bakınız* buz
doping, 483
Dow işlemi, 935–936, 935ş, 937
Downs hücresi, 922ş
doygun çözelti, 568, 568ş
doymamış çözelti, 569
doymamış hidrokarbonlar, 1160
doymamış moleküller, 1175
doymamış yağ asitleri, 1269, 1270
doymamışlık derecesi, 1192, 1194–1195
doymuş hidrokarbonlar, 1151
doymuş yağ asitleri, 1269, 1270
dört renk baskı, 1091ş
dörtyüzlü bağ açısı, 423
dörtyüzlü boşluklar, 531
dörtyüzlü elektron-grup geometri, 455
dörtyüzlü geometri, 1148
dörtyüzlü molekül, 422
dörtyüzlü, 526
döteryum, 45
dövülebilir, fiziksel özellikleri, 44, 52
duman, 635–636, 1003–1004
dumanın bileşimleri, 636ş
dumanlı sülfürik asit, 1001, 1246
duran dalgalar, 317–318, 317ş, 318, 318ş
durdurucu voltaj, 304
düğümler, 317
Dünya birincil enerji tüketimi kaynağı, 276ş
Dünya Ticaret Merkezi, 1009
Dünya
  atmosfer, 276–277
  Dünyanın yaşı, 1123–1124
düşük spin, 1085
düşünme dizgesi, 3
düzeltici, 495
düzensiz şekillenmiş katı, 15–16
düzlemsel moleküller, 1180

E

E, *Z* systemi, 1178–1179
E1 tepkimesi, 1226–1228, 1226ş
  ayrıca bakınız ayrılma tepkimesi E1, 1225
E2 tepkimesi, 1228
  ayrıca bakınız ayrılma tepkimesi E2, 1225
efüzyon, 223, 223ş, 225
efüzyon, hızları, 223
efüzyon, süreleri, 225
Einstein, Albert, 303, 305, 305ş, 313, 316
eka-silikon, 362
ekzergonik tepkimeler, 1286
ekzotermik süreç, 567, 569
ekzotermik tepkime, 248, 249ş, 275, 437, 677, 706
elfeneri pili, 888–889
elastik, 243
elekronötralite koşulu, 722, 771
elektrik alanı
  katot ışınları, saçılması, 40
  polar molekül, 430ş
elektrik yükü, 38, 39ş, 900
elektrik, 38
  amper, 900
  çözeltide iletkenlik, 152ş
  sulu çözeltiler, 152
  ve saf su, 586
elektrikçe nötral formül, 72
elektrikli otomobil, 863
elektriksel kuvvetler, 46
elektriksel nötralleştirme, 87
elektriksel yalıtkan, 482
elektro motor kuvveti (emk), 866
elektro saflaştırma, 901
elektrodiyaliz, 588
elektrofil, 1211, 1214–1215
elektrofilik aromatik yerdeğiştirme, 1244–1247
  halojenleme, 1245–1246
  meta yönlendiren sübstitüentler, 1246–1247
  nitrolama, 1245
  orto, para-yönlendiren sübstitüentler, 1246–1247
  ürünün tahmini, 1247
elektrofilik yerdeğiştirme tepkimesi, 1244–1247
elektrokaplama, 901
elektrokimya
  alternatif standart elektrotlar, 884–887
  anot, 864, 865, 867
  asitlere karşı metallerin davranışı, 877–878
  ayrıca bakınız elektrot potansiyelleri
  cam elektrot, 887–888
  çözünürlük çarpımı sabiti, ölçümü, 884
  denge sabiti, 874–880
  derişim hücreleri, 883–884, 883ş
  elektrokimyasal hücre, 866, 878, 896
  elektrokimyasal hücrede istemli tepkime, 866
  elektrokimyasal hücrenin elektromotor kuvveti, 865ş
  elektrolit hücreler, 867, 896, 896ş
  elektroliz, 896–904
  elektromotor kuvveti (emk), 866
  elektron sayısı, 874
  elektrot potansiyelleri ve ölçümleri, 864–869
  elektrot, 864
  Faraday sabiti (*F*), 874
  farklı fazlar arası sınır, 867
  galvanik hücreler, 867
  Gibbs enerji değişimi, 874–880
  hücre diyagramları, 867–868
  hücre gerilimi , 866, 869
  hücre potansiyeli, 866
  istemsiz tepkimeler, 896–904
  katot, 864, 865, 867, 891
  kenetlenme, 866
  korozyon, 894–895, 894ş
  kuramsal maksimum enerji, 892
  kurban anot, 895
  Nernst eşitliği, 880–881, 884
  pH, ölçümü, 887–888
  piller, 888–894
  pratik uygulamaları, 863–864
  standart elektrot potansiyelleri(E^o), 869–874, 871ş, 876
  standart hidrojen elektrodu (SHE), 869, 869ş
  standart hücre potansiyeli(E^ohücre), 870–888
  standart koşullar altında önemli ilişkilerin özeti, 879ş
  terimler, 867
  tuz köprüsü, 866
  volt (v), 866
  volta hücreleri, 867, 885
  volta hücreleri, istenmeyen, 894–895
  yarı hücre tepkimeleri, 874, 891
  yarı hücre, 864, 865ş
  yarı tepkimeler, 889
  yarı-hücre bölmeleri arasında sınır, 867
  yük sayısı, 874
  yükseltgenme indirgenme tepkimelerinde istemli değişme, 876–877
elektrokimyasal hücre, 866, 896
  istemli tepkime, 866
elektrolit çözeltiler, 584–587
elektrolit hücreler, 867, 896, 896ş
elektrolit olmayan çözeltiler, 581–584
elektrolit olmayanlar, 152, 154ş
elektrolitler, 152
  çözünmeyen iyonik bileşikler, 160
  elektrolit olmayanlar, 152, 154ş
  güçlü elektrolit, 152–153, 154, 154ş, 155,155*n*, 156
  türleri, 154ş
  zayıf elektrolit, 153, 154ş, 155
elektroliz, 896–904
  anot, 897
  aşırı gerilim, 897
  elektro kaplama, 901
  elektroarıtım, 901
  elektrodun yapısı, 898
  elektrolit hücreler, 896, 896ş
  elektroliz tepkimelerinde öngörme, 896–898, 899

elektrosentez, 902
elektrot yarı-tepkimeler, 899
endüstriyel elektroliz işlemleri, 900–904
Faraday sabiti (*F*), 899
klor-alkali işlemi, 902–904
miktarlar, hesaplaması, 900
nicel yönleriyle, 898–900
standart olmayan hal, 898
yarışmalı elektrot tepkimeler, 897–898
elektromanyet, 9
elektromanyetik kuvvetler, 1127
elektromanyetik ışıma, 295–299
angstrom, 296
dalga, 295, 296ş, 298–299
dalgaboyu, 295, 296, 297
frekans, 296, 297
genlik, 295
girişim, 298–299, 298ş
görünür bölge spektrumu, 299, 300ş
ışık hızı, 296
manyetik alan, 295
molekül çarpışmalarının frekansı, 295
şiddetlendirici girişim, 298
tanımı, 295
yokedici girişim, 298
elektromanyetik spektrum, 297ş
elektron denizi modeli, 480–481, 481ş
elektron dizilişleri, 339–343
atom ve iki atomlu molekül, 472
aufbau işlemi, 340–342
elektronların orbitallere dağılma kuralları, 339
elementlerin bazı gruplarının, 344ç
eş çekirdekli olmayan iki atomlu türler, 474
geçiş elementleri, 1033–1034
gösterimi, 339–340, 347
Hund kuralı, 339, 340, 342
katyon, 366
metal iyonları, 366*t*
normal olmayan elektron dağılımı, 342
orbital diyagramı, 339ş, 340
Pauli dışlama ilkesi, 339
soy gaz göbeğine göre elektron dağılımı, 341
soy gazlar, 366, 1092
spdf gösterimi, 339ş, 340, 347
temel hal elektron dizilişi, 453
ve periyodik çizelge, 344–348, 345ş
elektron dizilişleri, 344ç
elektron ilgisi(*Eİ*), 378–379, 378ş, 384, 392–393, 985
elektron mikroskobu, 294ş
elektron sayısı, 874
elektron spini, 333–335, 334ş, 379, 396
elektron yakalama (EC), 1113
elektron yoğunluğu, 486, 486ş, 487–488, 487ş
elektron yük yoğunluğu, 320–321
Elektron yoğunluğu çevre eğrisi haritası 486, 486ş
elektron yük-yoğunluk grafiği, 484–489
elektron- çifti vericisi, 732
elektron-çifti alıcısı, 732
elektron-grup geometrisi, 423–424, 424ş, 425–426ç, 458–459, 459ş
elektron-volt (eV), 316, 375*n*
elektronegatiflik (EN), 404–407, 405ş, 409, 729
elektronegatiflik eşeli, 405
elektronegatiflik farkı (ΔEN), 405–406
elektronik terazi, 9
elektronlar
açısal moment, 307
alt kabuk, 325–326, 339ş
bağ çifti, 399, 427
baş elektronik kabuk, 325–326
bir elektronun yerinin belirsizliği, 316–317
birincil elektronlar, 1134
çok elektronlu atomlar, 336–338
dalga özellikleri, 314ş
değerlik elektronları, 341, 346, 375
delokalize elektronlar, 731
durağan haller, 307
elektron dizilişleri, 339–343
elektronların orbitallere dağılma kuralları, 339
etkin çekirdek yükü, 338
girinim (nüfuz), 368–371
görüntüleme, 336–338, 368–371
katot ışınları, 40
keşfi, 39–41
küresel atom modeli, 41, 41ş
madde dalgası olarak, 318ş
merkez elektronlar, 375
olasılık yoğunlukları, 324, 327, 328, 328ş, 331ş
olasılık, 320–321
orbitaller, 324–326
ortaklanmamış elektron çifti, 399, 427
özellikleri, 44
p-değerlik elektronları, 370
perdeleme, 336–338, 368–371, 369ş
s-değerlik elektronları, 370
sayısı, atomlarda ve iyonlarda, 46
elektrosentez, 902
elektrostatik gerilim, 402, 403
elektrostatik potansiyel haritası, 402–408, 403ş, 416ş, 500ş, 505ş
konformasyonlar, 1156, 1156ş
elektrostatikler, 39
elektrot potansiyel diyagramları, 986, 987, 987ş
elektrot potansiyelleri, 864–869
alkali metaller, 922
ayrıca bakınız elektrokimya
geçiş elementleri, 1034
nitel öngörülerle, 878
ölçümü, 864–869
standart elektrot potansiyelleri($E°$), 869–874, 871ş, 876
standart hücre potansiyeli($E°_{hücre}$), 870–888
standart indirgenme potansiyelleri, 871
standart indirgenme yarı tepkimesi, 870
yükseltgenme indirgenme tepkimesinin öngörülmesi, 1048
elektrot, 864
aktif elektrot, 898
alternatif standart elektrotlar, 884–887
cam elektrot, 886ş, 887–888
doğası, ve elektroliz, 898
gümüş-gümüş klorür elektrodu, 886, 886ş, 887
ikincil standart elektrotlar, 884–886
inert elektrot, 898
iyon-seçici elektrotlar, 888
kalomel elektrot, 886, 886ş
net tepkimeler, 899
pH elektrot, 886ş, 887–888
şematik diyagramlar, 886ş
yarı tepkimeler, 899
element oksitlerinin asit-baz doğası, 385
elementler, 44–48
ayrıca bakınız periyodik Çizelge; özel elementler
baş grup elementleri, 53–54, 364, 376, 378ş
bir elementin molü, 75–76
canlılarda, 1267ş
d-blok elementleri, 344, 346, 1033ş
delokalize elementler, 474–480
en yüksek atom numaraları, 44–45
f-blok elementleri, 344, 346
geçiş elementleri. *bakınız* geçiş elementleri
iç geçiş elementleri, 364
iyonlar, 45–46
izotop kütleleri, 46–48
izotoplar, 45
molekül formülleri, 75–76
p-blok elementleri, 344, 345, 365, 385ş, 918
periyodik özellikler, 381–386
s-blok elementleri, 344, 385ş
süper ağır elementler, 5
tanımı, 5
tanınması, tepkime kimyası tanımından, 940–941
tek numaralı elementler, 45
transuranyum elementleri, 1118
yeni elementlerin keşfi, 362–363
elmas filmler, 953
elmas, 482, 526–527, 526ş, 952–953
emülsiyon, 932
en düşük enerjili boş molekül orbitali (LUMO), 479–480
en düşük sıcaklık, 222
en yüksek enerjili dolu molekül orbitali (HOMO), 473, 479–480
enantiyomerler, 1080, 1169, 1171–1175, 1274
enantiyomerlik, 1169
endergonik tepkimeler, 1286
endotermik süreç, 510, 567
istemli, 820–821
endotermik tepkime, 248, 249ş, 437, 626, 677
endüstriyel elektroliz işlemleri, 900–904
enerji bandı, 481, 481ş
enerji dönüştürücü, 893
enerji kaynakları
alternatif enerji kaynakları, 280
biyoyakıtlar, 280
doğal gaz, 275
etanol, 279
fosil yakıtları, 275–278
hidrojen, 280
kaynağa göre dünya birincil enerji tüketimi, 276ş
kömür, 275, 278–279
metanol, 279
petrol, 275
sübstitüe doğal gaz (SNG), 279
enerji seviyeleri, 308
enerji-seviyesi diyagramı, 308, 309ş
enerji
açık sistemde, 242
bağ ayrışma enerjileri (BAE), 435, 450, 728
bağ enerjileri, 434–437, 468
burulma enerjisi, 1157
çekirdek tepkimelerinin, 1125–1128
düzenlenme enerjisi, 834
elektromanyetik dalganın, girişim, 299
elektron-volt, 316
enerji kaynağı olarak yakıtlar, 275–281

enerji kuantumu, 302
enerjinin birimi, 243
enerjinin korunumu yasası, 246
enerjinin kuantlaşması, 309, 321
eşik enerjisi, 623, 624
eşleşme enerjisi, 1085
fotonun, 305
geçiş enerjisi, 322
Gibbs enerji değişimi, 834, 836–848
Gibbs enerji, 834–836
güneş enerjisi, 280
heterolitik bağ ayrışma enerjisi, 728, 728ş
hidrojenin iyonlaşma enerjisi, 311–312
iç enerji değişimleri, 259–266, 260ş
iç enerji, 244, 255, 255ş, 256, 821
iyonik rezonans enerjisi (IRE), 447
ısıl enerji, 243–244
kapalı sistemde, 242
kesikli, 302
kimyasal enerji, 248
kinetik enerji, 242, 243, 243ş, 623, 623ş
metabolizmada ilişkileri, 1287–1288
molekül kinetik enerjileri, 623, 623ş
örgü enerjisi, 529, 542–544, 927, 936–937
ortalama bağ enerjisi, 435, 435ç
ötelenme kinetik enerji, 255
potansiyel enerji, 243, 243ş, 450
rezonans enerjisi, 495
sistemden ayrılan, 255
sisteme giren, 255
sıfır noktası enerjisi, 830
süreçler, 243
tanımı, 242
titreşim enerjisi, 831, 831ş
transferi, 242
yüzey gerilimi, 508–509
enerjinin korunumu yasası, 246
enerjinin kuantlaşması, 309, 321
enine dalgalar, 296
entalpi (*H*), 260
bağ enerjilerinden tepkime, 436–437
buharlaşma entalpisi, 510–511, 554
çözelti entalpisi, 562–563
entalpi diyagramları, 265, 265ş, 266ş
erime entalpisi, 263, 520, 520ç
molar buharlaşma entalpisi, 263
mutlak değeri, 268
nötralleşme entalpisi, 273–274
oluşum entalpisi, 544
oluşum enthalpileri, 437
standart oluşum entalpisi, 268–275
standart tepkime entalpisi, 264
süblimleşme entalpisi, 521, 544
ve standart entropi, 832
entalpi değişimleri (ΔH), 259–266
Hess yasası, 266–267, 266ş
istemli değişim, yönü, 835
iyonik tepkimede, 274
iyonlaşma süreci, 727–728
kapasite özelliği, 266
kimyasal tepkimede, 261–263
maddenin haline göre değişime eşlik eden, 263, 264
metanın halojenlenmesi, 1249ç
mol tepkime başına, 262
örgü enerjisi, 927
standart entalpi değişimleri, 264–265, 270
süreç ters çevrildiğinde değişimin işareti, 266
ve sıcaklık, 265
entalpi diyagramları, 265, 265ş, 266ş
çözelti oluşumu, 563ş
entropi değişimi (ΔS), 822, 824–826
artması, 825–826, 825ş
ayrıca bakınız entropi
evrenin, 833
evrimi, 827–832
faz geçişleri, 827–829
istemli değişme, yönü, 835
nitel tahminleri, 826
sonsuz küçük değişimler, 824
standart molar entropiler, hesaplanması, 831
entropi için Boltzman eşitliği, 822–824
entropi, 567, 821–832
buharlaşmanın, 827
denge durumu özelliği, 840
entropi değişimi (ΔS). *bakınız* entropi değişimi (ΔS)
entropi için Boltzman eşitliği, 822–824
istatistiksel entropi, 828
maksimum entropi, 840
mutlak entropi değerleri, 827, 830–831
ölçümü, 827–832
Raoult yasası, 829, 830ş
simge, 821–822
sıcaklığın fonksiyonu olarak molar entropi, 830ş
standart molar entropi (S°), 830–832
tanımı, 821–822
termodinamiğin üçüncü yasası, 830
termodinamik entropi, 828
Trouton kuralı, 827–829
ve entalpi, 832
ve mikro haller, 822
ve titreşim enerjisi, 831, 831ş
enzimler, 640–642, 640ş, 1288–1290
erime eğrisi, 525
erime entalpisi, 263, 520, 520ç
erime ısısı, 520–521
erime noktası, 520–521, 827, 921
erime, 244, 263, 520–521
esterler, 1188, 1268
eş çekirdekli iki atomlu molekül, 474
eş çekirdekli olmayan iki atomlu molekül, 473–474, 474
eşdeğerlik noktası, 178, 762
eşel, 9
eşik enerjisi, 623, 624, 1249ş
eşik frekansı, 305
eşitliğin denkleştirilmesi, 113, 114–115
eşitlik, 113*n*
ayrıca bakınız kimyasal eşitlikler
çizgisel, 516
denkleştirilmesi, 113, 114–115
eşitlikten tam formül, 157
eşlenik asit, 699
eşlenik bağ yapısı, 1180
eşlenik baz, 699
eşlenik çift, 699
eşleşme enerjisi, 1085
etan hidrokarbon zinciri, 96
etan, 94, 832ç, 1148, 1148ç, 1151, 1156ç, 1157ç
etanoik asit, 98
ayrıca bakınız asetik asit
etanol, 82ç, 96, 279, 577, 1182, 1255, 1278
eten, 94, 1176, 1256
eterler, 1183–1184
etil alkol, 96, 569
etilen diklorür, 989
etilen glikol, 853, 1182–1183
etilen, 461–462, 462ç, 1251
etilendiamin tetraasetik asit, 1100, 1100ç
etilendiamin, 1073
etin, 1177
etkin atom yarıçapı, 367
etkin çekirdek yükü, 338, 369, 369ş, 376
etkin derişim, 790
etkinlik katsayısı, 587, 844
etkinlik
açıklama, 587
çözünürlük çarpımı, 790
denge sabiti, 659-660
gazlar, 845
hidronyum iyonu, 704*n*
ideal olmayan koşullarda, 844
saf katılar ve sıvılar, 845
sulu çözeltilerde çözünenler, 845
tanım, 659, 844
termodinamik denge sabiti, 844-848
tuz etkisi, 791
etoksit iyonu, 730
Everest Tepesi, 518
Eyring, Henry, 624

F

f-blok elementleri, 344, 346
fac izomer, 1079
Fahrenheit, 10–12
Fajans, Kasimir, 542
False, 1184
Faraday sabiti(*F*), 874, 899
Faraday, Michael, 39, 874ş
faz diyagramı, 522
faz diyagramları, 522–526
faz ve faz geçişleri, 524–525
iyot, 522
karbon dioksit, 522, 523ş
polimorfizm, 524
su, 524, 524ş
süperkritik sıvılar, 523–524
tanımı, 522
yorumu, 525–526
faz geçişleri,, 524–525, 827–829
fazlar, 524–525
fenil grubu, 1180
fenilhidrazin, 1180
fenol kırmızısı, 761–762
fenol, 176, 1181–1183
fenolftalein indikatör, 1019ş
fenolftalein, 769
Fermi, Enrico, 1130
ferrisiyanür, 1053, 1076
ferrokrom, 1041
ferromangan, 1041, 1050
ferromanyetizma, 1036, 1036ş
ferrosiyanür, 1053, 1076
ferrovanadyum, 1041, 1047
ferröz klorür, 87
fiber-optik kablolar, 964
Fischer izdüşüm formülleri, 1273
Fischer,Emil, 1273, 1273ş
fisyon, 1130–1133
fizikde Nobel Ödülü, 314
fiziksel değişim, 4
fiziksel özellik, 4
ayrıca bakınız özellikler
flaş kağıt, 1012
flor, 382, 985, 986, 989ç
atom kütlesi, 50
elektronegatifliği, 419
izotoplar, 55ş
oksiasitler, 990, 992
floresan, 39–40
florür, 978, 1003
fluorit, 541

formal yük, 412–414
formaldehit gazı, 463
formaldehit, 133, 1186
  kaba formül, 69
  molekül formülü, 69
  molekül geometrisi, 428–429
formaldoksim, 440
formalin, 463
formamit, 440
formik asit, 97, 464, 1149–1150
formül ağırlığı, 73
formül birimi, 72, 73, 74
formül kütlesi, 73
fosfat gübreleri, 958, 1017
fosfat kirlenmesi, 811
fosfat tampon sistemleri, 759
fosfatidler, 1271
fosfin, 1014
fosfogliserat kinaz, 640
fosfolipitler, 1271
fosfor bileşikleri, 1014–1017
fosfor pentaklorür, 440, 656
fosfor triklorür, 1014–1015
fosfor, 419, 1005
  bileşikleri, 1014–1017
  bulunuşu, 1006
  erime noktası, 383
  fosforun allotropları, 1013–1014
  halleri, 1014ş
  kullanımları, 1006
  molekül halleri, 76ş
  oksitleri, 1015
  üretimi, 1006
  ve çevre1017
fosforik asit, 134, 717–719, 1016–1017
fosforlar, 39
fosforun allotropları, 1013-1014
fosil yakıtları, 275–278, 956, 1278
foto iletkenlik, 997
fotoelektrik etki, 303–306, 304ş, 313
fotoelektron spektroskopisi, 473
fotoğraf filmi gelişimi, 1099
fotoğraf filmi sabitleme, 1099
fotoğrafçılık, 1099
fotoiletim, 946
fotokimyasal duman, 635
fotokimyasal tepkimeler, 635
fotonlar, 303
  dalga boyları, 322
  enerji, açığa çıkması, 305
  enerjisi, 308
fotoplankton, 956
fotosentez, 176, 273, 275, 956, 1101, 1277–1278
fotovoltaik (güneş) pili, 483ş
Fraenkel, J., 555
Franklin, Rosalind, 1293
fransiyum, 388, 920
Frasch işlemi, 996, 997ş
frekans
  angstrom, 296
  çarpışma frekansı, 622–623
  elektromanyetik ışıma, 296, 297
  eşik frekansı, 305
  hertz (Hz), 296
  molekül çarpışmalarının, 217, 295
Friedel-Crafts tepkimesi, 948
Fuller, R. Buckminster, 528
fullerenler, 528, 528ş, 953
furan, 495
füsyon reaktörü, 1134
füsyon süreci, 1128
füsyon, 1133–1134

G

galen, 965
Galileo termometresi, 32
Galileo, 2
galvanik hücreler, 867
galvanize demir, 1057
galyum, 346, 362, 918, 946
gama (γ) ışınları, 41–42, 42*f*, 1113, 1113ç
Gay-Lussac, Joseph Louis, 199, 201, 211
gaz basıncı, 193–198
  atmosfer basıncı, 194–195, 195ş, 197
  ayrıca bakınız basınç
  barometre basıncı, 194–195
  basınç birimleri, 197–198, 197ç
  basınç kavramı, 193
  Dalton'un kısmi basınçlar yasası, 213, 214ş
  hesaplaması, 205–206
  kısmi basınç, 213, 214
  manometreler, 195–197, 196ş
  ölçümü, 195–197, 196ş
  sıvı basıncı, 194, 194ş, 196
  van der Waals eşitliği, 227–229
gaz çözeltileri, 6
gaz difüzyonu, 224–226
gaz fazı iyonlaşma tepkimesi, 727
gaz fazı tepkimesi, 437
gaz oluşum tepkimeleri, 164ç
gaz sabiti, 204
gaz yasaları
  Avogadro yasası, 201–203, 204
  basit gaz yasaları, 198–203
  birleşik gaz yasası, 206
  Boyle yasası, 198–199, 199ş, 204, 226–227
  Charles yasası, 199–201, 204
  gaz yasalarının birleştirilmesi, 204–207
  gaz yasalarının kullanımı, 206
gaz yoğunlukları, 14
gaz. *bakınız* gazlar
gazlar
  aktiflik, 845
  Amonton yasası, 206
  Avogadro yasası, 201–203, 204
  ayrıca bakınız özel gazlar
  birinci dereceden tepkimeler, 616–618
  birleşik gaz yasası, 206
  birleşmiş hacimler yasası, 210–212
  Boyle yasası, 198–199, 199ş, 204
  buhar, 518
  Charles yasası, 199–201, 204
  çözünürlük, 570–572
  denge, 665–667
  doğal gaz, 224
  efüzyon, 223, 223ş, 225
  etkin olmayan gazlar, 212
  faz diyagramları, 522–526
  gaz basıncı. *bakınız* gaz basıncı
  gaz çözeltileri, 6
  gaz hacmi, 200*n*
  gaz karışımları, 212–216
  gaz sabiti, 204
  gaz yasaları, 198–207, 206
  gaz yasalarının birleştirilmesi, 204–207
  gazların özellikleri, 193–198
  gazlı su, 8ş
  genel gaz eşitliği, 204–206, 207
  genleşme, 257ş, 258ş
  hacim, hasaplanması, 205
  hacim, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak, 200, 200ş
  hal eşitliği, 193
  halojenler, 193ş
  ideal davranış, 227
  ideal gaz eşitliği. *bakınız* ideal gaz eşitliği
  ideal gaz, 204, 292, 821
  ideal olmayan (gerçek) gaz, 226–229, 226ş
  ideal olmayan davranışlar, 227
  iyonlaşma enerjisi (*I*), 374–378
  ıslak, 215
  kelvin sıcaklığı, 222
  kimyasal tepkimelerde, 210–212
  kinetik moleküler gaz kuramı, 216–226
  kısmi basınç, 617
  mol kütlesi, belirlenmesi, 208–209
  molar hacim, 202, 203ş, 203ç
  moleküller arası kuvvetler, 227, 227ş
  mükemmel gaz, 204
  sentez gazı, 282, 956
  sera gazları, 276, 278
  sıcaklık ve basıncın standart koşulları (STP), 201
  sıkıştırılabilirlik faktörü, 226, 226ç
  sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), 224
  soy gazlar. *bakınız* soy gazlar
  su üzerinde toplanan, 215–216, 215ş
  tanımı, 7
  van der Waals eşitliği, 227–229
  van der Waals sabitleri, 226ç
  yayılma, 112ş
  yoğunluk, 203*t*, 209–210
gazların kinetik-molekül kuramı, 216–226
  ana hattı, 216–217
  Boyle yasasının türetilmesi, 217–218
  difüzyon, 223, 223ş, 224–226
  gaz özellikleri, 223–226
  Graham yasası, 224
  hız kareleri ortalamasının karekökü, 219–220, 223
  molekül hızlarının dağılımları, 218–221, 218ş, 219ş, 221, 221ş
  sıcaklık, anlamı, 222–223
gazohol, 279
geçiş elementleri, 54, 364, 371, 376
  altın, 1054–1056
  atom yarıçapları, 1032
  bakır, 1054–1056
  birinci sıra geçiş metal elementleri, 1046–1052
  çinko, 1056–1058, 1056ç
  civa, 1056–1058, 1056ç
  değerlik veya bağlanma kapasitesi, 1071
  demir üçlüsü, 1052–1054
  demir ve çelik metalurjisi, 1044–1045
  demir, 1052
  elektron dizilişi, 1033–1034
  elektrot potansiyelleri, 1034
  geçiş metali bileşikleri,1034–1035
  genel özellikleri 1032–1037, 1032ç
  grup 11 elementleri, 1054–1056
  grup 12 elementleri, 1056–1058
  gümüş, 1054–1056
  iyonik bileşikler, 1034–1035
  iyonlaşma enerjisi, 1034
  kadmiyum, 1056–1058, 1056ç
  karşılaştırma baş grup elementleri, 1036–1037
  katalitik etkinlik, 1035
  kobalt, 1052
  kovalent bileşikler, 1034–1035
  krom, 1047–1050
  lantanitler, 1059
  mangan, 1050–1051

manyetizma, 1036
nikel, 1052, 1054
renk, 1036
skandiyum, 1046
titanyum, 1046–1047
üretim metalurjisi, 1037-1044
vanadyum, 1047
yüksek sıcaklık süper iletkenleri, 1059–1061
yükseltgenme basamakları, 1033–1034, 1034ş
geçiş enerjisi, 322
geçiş hali kuramı, 624–626
geçiş hali, 624, 631
geçiş metali iyonları, 366
geçiş metalleri, 54
Geiger sayacı, 42
Geiger-Müller (G-M) sayacı, 1135, 1135ş
Geiger, Hans, 42
Geim, Andre, 954
gelgit gücü, 280
genel gaz eşitliği, 204–206, 207
genel tepkime hızı, 603
genişlemiş değerlik kabuğu, 419–421
genişlemiş *spdf* notasyonu, 339ş, 340
genlik, 295
geometrik izomerlik, 1077–1080, 1077ş, 1078ş
gerçek gaz, 226–229, 226ş
gerçek verim, 132, 133
gerekli amino asitler, 1280, 1296
Gerlach, Walter, 334, 379
germanyum, 362*t*, 482–483, 918, 951
Germer, L.H., 314
Gibbs enerji değişimi (ΔG), 834, 836–848
belirlenmesi, bir hücre potansiyelinden, 875
büyüklüğü, 843*t*
cam elektrot, ve pH nın ölçümü, 887–888
denge sabiti, 841
dengede, 842ş
elektrokimya, 874–880
hal fonksiyonları, 876
istemli değime, yönü, 842ş
kuramsal maksimum enerji, 892
listelenmiş verilerden tepkimenin denge sabiti, 847–848
sıcaklığın bir fonksiyonu olarak, 837ş, 848–851
standard Gibbs enerji değişimi (ΔG^{o}),836–837
standart olmayan koşullar, 839–841
termodinamik denge sabiti, 844–848
ve denge, 837–848
ve üretim metalurjisi tepkimeleri, 1041ş
Gibbs enerji fonksiyonu, 836
Gibbs enerjisi, 833–834
anlamı, 836
ayrışma tepkimesi, 990
azot bileşikleri, 1007
Gibbs enerji fonksiyonu, 836
kriterlerinin uygulanması, 834–836
monosübstitüe sikloheksanların aksiyal ve ekvatoral konformerleri, 1167ç
standart koşullar, 836
standart olmayan koşullar, 836, 839–841
standart oluşum Gibbs enerjisi, 836
tanımı, 834
Gibbs serbest enerji. *Bakınız Gibbs* enerjisi
Gibbs, J. Willard, 834ş
Gillespie, R.J., 488
Gillespie, Ronald, 458
girinim (nüfuz), delme, 336–338, 368–371
girişim, 298–299, 298ş
şiddetlendirici girişim, 298, 465
yokedici girişim, 298, 465
Glauber işlemi, 930
Glauber tuzu, 35
ayrıca bakınız sodyum sülfat
Glauber, Rudolf, 930
Glendenning, E.D., 488*n*
glikojen, 1277
glisen, 430
gliseraldehit, 1272ş
gliseril esterler, 1269
gliseril, 1268
gliserin, 1182ş, 1183, 1268
glisin, 710ş, 1280
globulin, 5
glukoz, 69, 1275–1276, 1275ş, 1287
glukozlar, 1271
Goodyear, Charles, 3
Goudsmit, Samuel, 333–334
göreceli atom kütleleri, 55*n*
göreceli biyolojik etkinlikler (Q), 1136
görecelilik etkisi, 1057
görüntüleme, 336–338, 368–371
görünür bölge spektrumu, 299, 300ş
gözlemci iyonlar, 157, 789, 867
grafen, 953, 953ş
grafit, 527, 527ş, 527*n*, 952
ayrıca bakınız karbon
Graham yasası, 224
gram (g), 9
Grignard bileşiği, 1264
grup 1 elementleri, 52, 344, 920–933
ayrıca bakınız alkali metaller
elektron dizilişi, 344*t*
fiziksel özellikler, 921–922, 921ç
grup 1 bileşikleri, 924–933
grup 1 metallerinin indirgen etkileri, 383–384
grup 11 elementleri, 1054–1056
grup 12 elementleri, 1056–1058
grup 13 elementleri, 346, 941–950
aluminyum, 946–950
bor, 941–945
kullanımları, 945–946
özellikler, 945–946, 945ç
yükseltgenme basamağı, 946
grup 14 elementleri, 951–967
grup 14 bileşikleri, 966–967
halojenürler, 966–967
kalay ve kurşun, 964–966
karbon, 951–957
kurşun zehirlenmesi, 967
oksitler, 966
silisyum, 957–960
grup 15 elementleri, 1004–1017
allotropi, 1005
azot bileşikleri, 1007–1013
azot. *bakınız* azot
bileşikler, 1007–1013, 1014–1017
bulunuşu, 1006
fosfor bileşikleri, 1014–1017
fosfor. *bakınız* fosfor
fosforun allotropları, 1013–1014
kullanımları, 1006
metal-ametal karakteri, 1005–1006
özellikler, 1005–1006, 1005ç
üretimi, 1006
grup 16 elementleri, 994–1004
bileşikler, 999–1003
bulunuşu, 995–998
halojenürler, 1003
kükürt bileşikleri, 1000–1003
küküt. *bakınız kükürt*
kullanımları, 995–998
oksijen bileşikleri, 999–1000
oksijen. *bakınız* oksijen
özellikler, 994–995
polonyum, 998
selen, 997
tellür, 997
üretimi, 995–998
grup 17 elementleri, 52, 985–994
grup 18 elementleri, 979–984
ayrıca bakınız soy gazlar
elektron dizilişleri, 344ç
grup 2 elementleri, 345, 933–941
ayrıca bakınız alkali toprak metalleri
fiziksel özellikler, 933–934, 934ç
grup 2 bileşikleri, 936–939
grup 2 metallerinin indirgen etkileri, 383–384
gruplar, 52
guanin, 505ş
gübreler, 108–109, 958, 1017, 1101
güçlü bir asidin çözeltisinde, 706–707
çok protonlu asit çözeltisinde, 719–720
kontrolü, 799
sülfürik asit çözeltilerinde, 721
güldürücü gaz, 1010
gümüş buharı, 514
gümüş halojenür, 1056
gümüş iyodür, 157, 157ş, 792–793
gümüş klorür, 156, 160, 784, 799, 800ş
gümüş kromat, 35, 112ş
gümüş nitrat, 35, 35ş, 112ş, 151–152, 157
gümüş-çinko hücresi, 890, 890ş
gümüş-gümüş klorür elektrodu, 886, 886ş, 887
gümüş-kalay bileşiği, 558*n*
gümüş-kaplama yemek takımı, 901
gümüş, 348, 684, 864, 864ş, 878, 1054–1056, 1055ç
gümüş(I) nitrat, 1056
güneş enerjisi, 280

H

Haber–Bosch işlemleri, 1008, 1008ş
Haber, Fritz, 65, 542, 695, 1008
hacim faktörü, 227
hacim yüzdesi, 213
hacim yüzdesi, 558–559
hacim
basınç-hacim işi, 252–254, 253ş
bir gazın, 200*n*
birleşen hacimler yasası, 210–212
değişimler (eşitlik için), 199
denge, ve hacimde değişim, 675–677
düzensiz şekillenmiş katı, 15–16, 16ş
gaz hacmi, sıcaklığın fonksiyonu olarak, 200, 200ş
hacim yüzdesi, 213
kapasite özellikler, 13
kristal yapıda boşlukların, 534
mol başına bastırılamayan hacim, 227
molar hacim, 202, 203ç
molaritede kullanımı, 124
ölçümü, 12
sabit hacim, 259, 261ş
SI temelli birimler, 13
stokiyometrik hesaplamalarda, 121, 122
tanımı, 12
tepken çözeltisinin molar derişimi ve ürün hacminin kütlesi, 128
ve kütle ve yoğunluk, 15

Hahn, Otto, 1130
hal eşitliği, 193
hal fonksiyonu, 256–257
hal fonksiyonu, 256–257
halka gerginliği, 1162–1163, 1162ş, 1162ç
halkalı moleküller, 1180
Hall, Charles Martin, 946
Halley kuyruklu yıldızı, 10
haloalkanlar, 1153
  göreceli etkinlikleri, 1224*t*
  nükleofilik yerdeğiştirme tepkimeleri, 1211–1212
halojenleme, 1242–1243, 1245–1246, 1249ç
halojenlenmiş hidrokarbonlar, 1160
halojenler arası bileşikler, 993–994, 993ç
halojenler, 52, 98, 985–994
  bakınız grup 17 elementleri
  çok halojenürlü iyonlar, 994
  elektron ilgileri, 985
  elektrot potensiyel diyagramları, 986
  gaz hali, 193ş
  halojen iyonları, 88
  hidrojen halojenürler, 989–990, 990ç
  iç halojen bileşikleri, 993–994, 993ç
  iki atomlu moleküller, 985
  katılma tepkimesi, 1242–1243
  kullanımları, 986–989
  oksianyonlar, 990–993
  oksiasitler, 990–993, 991ç
  özellikleri, 381*t*, 985–986, 985ç
  perhalo asitler, 985
  üretim, 986–989
halojenürler
  alkali metaller, 925–926
  alkali toprak metalleri, 937
  alkil halojenürler, 1153
  aluminyum, 948–949
  azot, 1012–1013
  bor, 943, 944
  grup 14 metalleri, 966–967
  gümüş halojenürler, 1056
  hidrojen halojenürler, 989–990, 990ç
  kükürt, 1003
  oksijen, 1003
  silisyum, 963
halotan, 76–77, 76ş
ham petrol, 1161
hareketli dalgalar, 317
hardal gazı, 1003
Harrizon, John, 1057ş
Hartree, Douglas, 370
Harwood, W., 3*n*
hatalar, 18
hava gemileri, 210,980
hava pilleri, 893, 893ş, 906
hava yastıkları, 136, 210, 489
hava, 6, 214,980
  bakınız, oksijen
havai fişek, 917ş, 921
Heisenberg belirsizlik ilkesi, 314–317, 316ş
Heisenberg, Werner, 315, 315ş
heksa -metilfosforik triamit (HMPT), 1220
heksa metilendiamin, 140, 902
heksa- öneki, 89, 93
*heksa*gonal sık istiflenme (hsi), 531, 533ş
helyum, 210, 301, 365, 980, 1017
  atom spektrumu, 301ş
  atom, 43ş
  gaz, 514, 1003
hemodiyaliz, 588ş
hemoglobin, 954, 954ş
Henderson-Hasselbalch eşitliği, 753–754
Henry yasası, 571–572
Henry, William, 571
hepta- öneki, 89
heptan, 1161
Héroult, Paul, 946
hertz (Hz), 296
Hertz, Heinrich, 303
Hess yasası, 266–267, 266ş, 270–271, 542, 664
heteroatom, 1183
heterojen denge, 844
heterojen karışımlar, 6, 558*n*, 564
heterojen kataliz, 638, 638ş
heterolitik bağ kırılma enerjileri, 728, 728ş
heterosiklik bileşik, 1183
heterosiklik bileşikler, 1191–1192
hız –belirleyici basamak, 630, 632
hız birimi, 12
hız eşitliği, 608–611
Hız kareleri ortalaması, 218
hız kareleri ortalaması, 218
hız karelerinin ortalamasının karekökü, 219–220, 223
hız sabiti, 608, 609, 612, 662
hız yasası
  başlangıç hızları yöntemi, 609–611
  birinci dereceden tepkimeler, 612–619
  hız sabiti, 609
  hız yasasını kullanarak, 611
  ikinci dereceden tepkimeler, 619–620
  integrali alınmış hız yasası, 611–612, 613–615, 620
  kararlı hal yaklaşımı, 634–635
  sıfırıncı dereceden tepkimeler, 611–612, 612ş
  tepkime derecesi, 609–610
  tepkime mekanizmaları. *bakınız* tepkime mekanizmaları
hız, 603
hız, 603
hız
  hızın birimi, 12
  tanımı, 12
hızlı ön denge mekanizması, 632
hidrat, 93, 1098
hidratlaşma, 155, 1241–1242
hidratlaşmış metal iyonları, 733, 734ş
hidratlaşmış silikat polimerleri, 961–962
hidrazin, 176, 546, 1009
hidrazoik asit, 1009
hidro- öneki, 90
hidroelektrik enerji, 280
hidrohalojenür asitleri, 989
hidrojen atomu, 161
  aksiyal, 1165
  birincil hidrojen atomları, 1151
  dalga fonksiyonu, 323–324
  ekvatoryal, 1165
  elektronik yapısı, 335
  enerji seviyeleri, 308
  enerji seviyesi diyagramı, 309ş
  hidrojen atom orbitalleri, 326, 327–333
  hidrojen atomunun Bohr modeli, 308ş
  iki hidrojen atomu arasındaki etkileşim türleri, 450
  iyonlaşabilen hidrojen atomları, 163
  iyonlaşma enerjisi, 311–312
  iyonlaşma potansiyeli, 728
  molekül kuramı, 466ş
  organik bileşiklerde, 94
  Schrödinger eşitliği, 326, 327
  sınıflandırması, 1152ş
  temel hal, 335
  uç atomlar, 408
  ve organik bileşikler, 1148
hidrojen atomunun Balmer serisi, 301, 301ş
hidrojen azür, 489–491
hidrojen bağı, 503
hidrojen bağlanması, 501–505, 503ş
  canlılarda, 505
  etkilediği diğer özellikler, 504
  hidrojen florür gazında, 503ş
  molekül içi hidrojen bağı, 504–505
  moleküller arası hidrojen bağı, 504–505
  suda, 503–504, 503ş
hidrojen benzeri orbitaller, 336
hidrojen bombası, 1133
hidrojen ekonomisi, 1020–1021
hidrojen florür, 503ş, 989
hidrojen fosfat, 91
hidrojen gazı, 216, 218ş, 686, 1020
  toplanması, 120,120ş
hidrojen halojenürler, 382, 989–990, 990ç,1240–1241
hidrojen klorür, 154, 160
  elektrostatik potansiyel haritası, 403ş, 404
hidrojen peroksit, 4, 605, 605ş, 605ç, 606ç,615, 928, 942, 1000
  antiseptik etki, 174ş
  bozunma, 1028
  katalitik bozunma, 638–640
hidrojen siyanür gazı, 726
hidrojen sülfür, 807–808
hidrojen-oksijen yakıt hücresi, 892ş
hidrojen, 918, 1017–1021
  atom kütlesi, 76
  bakınız hidrojen atomu
  benzersizliği, 976
  bileşikler, 1018–1020
  enerji kaynağı olarak, 280
  gaz. *bakınız* hidrojen gazı
  grup 1, 344
  hazırlanması, 1018
  hidrojen katılması, 1240
  hidrojen katyonu H^+, 154–155
  iyon, 161
  izotop, 45
  kullanımı, 1019–1020, 1020*t*
  metallere bağlanmış, 85
  molekül kütlesi, 76
  molekülü, 5
  normal suda, 4
  oluşumu, 1018
  Schrödinger eşitliği, 323–324
  spektrum, 301
  standart hidrojen elektrot (SHE), 869, 869ş
  temel hal elektron dizilişi, 1018
  ve çevre, 1020–1021
  ve periyodik çizelge, 367
  yayılma spektrumu, 309, 310
  yayınlanan ışık , 1ş
hidrojenleme tepkimeleri, 1019
hidrojenleme, 669, 1240
hidrokarbon zincirleri, 731
hidrokarbonlar, 94–96, 95ş, 1148
  alkan hidrokarbon, 1152, 1153
  dallanmış-zincir hidrokarbonlar, 1151
  doymamış hidrokarbonlar, 1160
  doymuş hidrokarbonlar, 1151
  halojenlenmiş hidrokarbonlar, 1160
  hidrokarbonlar, 1179–1181
  indirgen olarak, 1018
  is, 953
  sıvı hidrokarbonlar, 564
  yükseltgenme, 1248

hidroklorik asit, 216, 700, 726
ile tepkimeler, 5, 5ş, 140
katı aluminyum ve hidroklorik asit çözeltisi arasındaki tepkime, 120
hidrokloroflorokarbonlar (HCFCs), 988
hidroksi grubu, 409
hidroksiapetit, 669, 1017
hidroksil grubu, 97, 1181
hidroksil radikali, 418
hidroksilamin, 1009
hidroksitler, 901
alkali metaller, 926–928
aluminyum, 949
çözünür iyonik hidroksitler, 162
iyonlar, 90, 1007
toprak alkali metaller, 937–938
hidrolik çimento, 938
hidrolikler, 193
hidroliz, 724, 725, 726, 733ş, 771
hidrometalurji, 1043
hidronyum iyonu, 90*n*, 154–155, 155ş, 400, 699,700ş, 704*n*, 705–706, 705ş, 708
hidrosiyanik asit, 957
hidrürler, 501
alkali metal hidrürleri, 926
azot, 1009
hidrojen, 1018–1019
Hindenburg, 210
hiperkonjugasyon, 484–485, 1218, 1218ş, 1229
hipertonik çözelti, 580
hipervalent moleküller, 485
hipoklorit iyonu, 992
hipoklorit tuzları, 992
hipokloröz asit, 712
hiponitröz asit, 1010
hipotez, 3ş
hipotonik çözelti, 580
Hiroshima felaketi, 1136
Holton, Robert a., 1208ş
homojen karışım, 6, 558, *bakınız çözeltiler*
homojen kataliz, 637, 637ş
homolog seriler, 1155
Hughes, Edward, 1217
Hund kuralı, 339, 340, 342, 471
Hückel, Erich, 587
hücre diyagramları, 867–868
hücre gerilimi, 866
ayrıca bakınız standart hücre potansiyeli ($E°$hücre)
hücre voltajı, 866, 869
hücre zarları, 1271, 1271ş
hücre, 1267

ısı , 244–248
açığa çıkması, 112ş
aktarımı, maddeler arasında, 241ş
bakınız termokimya
buharın yoğunlaşması, 511
erime ısısı, 520–521
ısı birimi, 243
ısı kapasitesi, 244–245
ısı miktarı içeren stokiyometrik hesaplamalar, 263
ısı miktarının hesaplanması, 245
ısıl enerji aktarımı, 244
ısının SI birimi, 244
joule, 244
kalori (cal), 244
molar ısı kapasitesi, 244
özgül ısı değerleri, önemi, 247
özgül ısı kapasitesi, 245
özgül ısı, 245, 245*n*, 246–247, 247ç
tanımı, 244
tepkime ısısı. *bakınız* tepkime ısısı
yanma ısısı, 248, 276*t*
ısı aktarım ortamı, 923
ısı kapasitesi, 244–245
kalorimetre bombası, 249
kalorimetre, 249
ısı makinası, 861
ısıl enerji aktarımı, 244
ısıl enerji, 243–244
ısıl şok, 1045
ısınma eğrisi, 521, 521ş
ıslak gaz, 215
ıslak kimya, 805
ıslanma, 578
ışık
beyaz ışık, 300, 300ş
dalga sayısı, 1205–1206
erimiş demirin emisyonu, 302ş
fotokimyasal tepkimeler, 306–307
fotonları, 306–307
ikili doğası, 313
ışığın dalga karakteri, 298
ışık hızı, 296
ışık madde etkileşimi, 303
ışık yayılma kaynakları, 300ş
kırılma, 299ş
önemi, kimyada, 300
soğurma ve geçirgenlik, 1092ş
ışık hızı, 296
ışık madde etkileşimleri, 303
ışık yayan diyotlar(leds), 297, 946
ışıksız tepkimeler, 1278
ışınlama, 1139
ışıma
alfa parçacıkları, 41, 42, 42ş
beta parçacıkları, 41, 42ş
birimler, 1136, 1136ç
dedektörler, 1134–1135
doz, 1136–1137
elektromanyetik ışıma, 295–299
gama ışınları, 41–42, 42ş
Geiger sayacı, 42
iyonlaştırıcı ışıma, ve yaşayan canlılar, 1135
ışıma, 1139
kanser terapisi, 1137
katot ışınları, 39
kırınım, 299, 358
kızıl ötesi ışıma, 277
madde, etkisi, 1134–1137, 1135ş
rad, 1136
radon, 1137, 1145
rem, 1136
siyah cisim ışıması, 302, 303, 306
sıcak cisimden yayılan, 302ş
türleri, radyoaktif materyallerden, 41, 42ş
üretim 1139

iç enerji değişimleri, 259–266, 260ş, 261–263
iç enerji, 244, 255, 255ş, 256, 821
iç geçiş elementleri, 364
içsel yarı iletkenler, 482
ideal çözeltiler, 563–564, 564ş, 573–575
ideal gaz eşitliği, 204
bir gaz hacminin hesaplanması, 205
buhar basıncı, 514
gaz basıncı, hesaplama, 205–206
gaz karışımları, 213
gaz yoğunlukları, 209–210
mol kütlesi, saptanması, 208–209
tepkime stokiyometrisi hesaplamaları, 210, 211
uygulaması, 204, 207–212
ideal gaz, 204, 292, 821
ideal gazların karışması, 821, 822ş
vakum içine genlemeşme, 821ş
ideal olmayan (gerçek) gaz, 226–229, 226ş
ideal olmayan çözeltiler, 564, 564ş
-il soneki, 1188
-ik soneki, 91
iki atomlu moleküller, 421, 467, 467ş, 470ş, 471, 471ş, 831, 985
eş çekirdekli iki atomlu molekül, 474
eş çekirdekli olmayan iki atomlu molekül, 473–474
iki basamaklı mekanizma, 630–631
iki dişli ligant, 1073
iki moleküllü süreç, 630
ikili asitler, 728
ikili asitler, 90, 727–729, 979
ikili bağlar, 1173, 1175, 1241
ikili bileşikler
adlandırma, 89ç
birden fazla ikili bileşik oluşturan ametaller, 89
iki ametali, 88–90
metal ve ametalleri, 87–88
tanımı, 87
ikili florürler, 977ç
ikili iyonik bileşikler, 398
ikili kovalent bağ, 70, 401
ikili ok, 113, 155
ikili oksitler, 978*t*
ikili sarmal, 1293
ikili tuzlar, 950
ikinci dereceden tepkimeler, 610, 619–620
ikinci iyonlaşma enerjisi, 375
ikincil alkol, 1181, 1185
ikincil değerlik, 1071
ikincil hücreler, 888, 889
ikincil iyonlaşmalar, 1134
ikincil karbon, 1151
ikincil renkler, 1090–1091
ikiz dihalojenürler,1242–1243
iklim değişimi, 13, 278
iletkenlik bandı, 481
indikatörler, 178
indirgen çift, 870
indirgen şeker, 1276
indirgen, 175–177, 176ş, 383
indirgenler, 175–177, 176ş, 383, 1018
indirgenme yarı tepkimesi, 383, 870, 872ç
indirgenme, 166, 168, 1038
katot, 867
indiyum, 49, 348, 918, 946
indükleme, 2, 499ş
indüklenmiş dipoller, 499–500, 499ş
inert elektrot, 898
inertlik, 4
Ingold, C., 1171
Ingold, Christopher, 1217
inorganik bileşikler, 86–93
ad ve formülleri, 87–93
çok atomlu iyon, 90–91, 91ç
daha kompleks bileşikler, 92–93
iki ametalin ikili bileşikleri, 88–90
ikili asit, 90
metal ve ametallerin ikili bileşikleri, 87–88

oksiasitler, 91–92, 92ç
tanım, 87
üçlü bileşikler, 91
inorganik kimya, 87
insan yapımı en düşük sıcaklık, 222
integral alt indisleri, 81
integral hesapları, 612
integral sayıları, 114, 308
integrali alınmış hız yasası
birinci derece tepkimeler, 613–615
ikinci derece tepkimeler, 620
tanımı, 611–612
is, 953
iskelet yapı, 408–409
istatistiksel entropi, 828
istemli değişim
anlamı, 820–821
entropi, 821–832
Gibbs enerji değişimi, 834, 836–848
Gibbs enerjisi, 834–836
kriteri, 834–835, 834ç, 842–843
sıvı-buhar dengesi, 839ş
standart olmayan koşullar, 882–883
termodinamiğin ikinci yasası, 832–836
termodinamik denge sabiti, 844–848
yönü, 835, 842ş
yükseltgenme-indirgenme tepkimelerinde, 876–877
istemli süreç, 820
istemlilik, 820–821
standart olmayan koşullar, 846–847
istemsiz işlem, 820
istemsiz tepkimeler, 896–904
istenmeyen ürünler, 132
istiflenme kesri, 1145
iş fonksiyonları, 392
iş, 244, 252–254
basınç-hacim işi, 252–254, 253ş
işin SI birimi (joule), 243, 254
kimyasal tepkime esnasında, 252ş
litre-atmosfer (L atm), 254
negatif iş, 253
pozitif iş, 253
işlevsel gruplar, 96–98, 1152–1155,1154ç
aldehitler, 1184–1186
aletli analiz teknikler, 1205–1206
alkoller, 1181–1183
aminler, 1190–1191
amitler, 1189–1190
birden fazla işlevsel grubu olan bileşiklerin adlandırılması, 1191–1192
dönüşüm 1255
esterler, 1188
eterler, 1183–1184
fenoller, 1181–1183
heterosiklik bileşikler, 1191–1192
işlevsel grup içeren organik bileşikler, 1181–1192
karboksilli asitler, 1186–1188
ketonlar, 1184–1186
tanınması, 1205–1206
-it soneki, 91
itai-itai-kyo, 1058
ITER (Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü), 1134
iterbiyum oksit, 1060
iterbiyum, 51
iyon çarpımı, 704, 793
iyon çiftleri, 155*n*, 398, 791–792
iyon değiştirme, 961ş
iyon derişimleri
iyon eşitliği, 157, 158, 163
iyon tutucu metal iyonlar, 1100–1101
iyon-seçici elektrotlar, 888
iyonik atmosfer, 587
iyonik bağlar, 69, 396, 397
iyonik bileşikler, 72, 74, 153, 541
çözünmeyen iyonik bileşikler, 160
geçiş elementleri, 1034–1035
ikili iyonik bileşikler, 398
iyonik katılar, çözünürlük kılavuzları, 158ç, 159
Lewis yapısı, 397–398
üçüncül iyonik bileşikler, 398
iyonik çap, 367, 368ş, 372–373, 540
atom çaplarıyla karşılaştırılması, 374
iyonik çözeltiler, 566–567
iyonik hidritler, 1019
iyonik hidroksitler, 707
iyonik katılar, 529–530, 978
çözünürlük kılavuzlar, 158ç
iyonik kristal yapıları, 538–542
iyonik kristal, 398, 398ş, 529, 555
Born-Fajans-Haber çevrimi, 542
entalpi diyagramı, 543ş
oluşumda enerji değişimleri, 542–544
iyonik resonans enerjsi (IRE), 447
iyonik sıvılar, 1256
iyonlar arası çekimler, 586–587, 587ş
iyonlar arası kuvvetler, 529, 529ş
iyonlar, 45–46
ametal atomlarından oluşumu, 54
ametaller, 364–367
asit ve baz olarak, 723–727, 724ş
ayrılması, ayrımsal çöktürme ile, 796–797
baş grup ametal iyonları, 366
baş grup metal iyonları, 365
basit iyonlar, 88*t*
büyüklükleri, 367–373
çok atomlu iyon, 72, 84, 398, 409, 411–412
çok halojenürlü iyonlar, 994
çözünenin iyonlarına kısmen iyonlaşması, 791–792
diyamanyetik, 379
elektrolitler, 152
geçiş metal iyonları, 366
gözlemci iyonlar, 157, 789, 867
hidrolizleri, 724, 725, 726
kısmi iyonlaşmış çözünen, 152, 153
metaller,364–367
ortak iyon, 746, 788
paramanyetik, 379
proton, nötron ve elektron sayıları, 46
tam iyonlaşmış çözelti, 152–153
tanımlanmış, 41
tek atomlu iyon, 72, 84, 398
yabancı iyon etkisi, 791
iyonlaşma dengesi, 798
iyonlaşma enerjisi *(I)*, 374–378
atom molü, 375*n*
birinci iyonlaşma enerjisi, 375, 375ş
elektron-volt (eV), 375*n*
geçiş elementleri, 1034
hidrojenin, 311–312
ikinci iyonlaşma enerjisi, 375
ilgili iyonlaşma enerjileri, 377
izoelektronik atom ve iyonların serileri, 386–388
tanım, 374
üçüncü periyot elementleri için, 376, 376ç
ve atom yarıçapı, 376
ve elektronegatiflik, 405
ve etkin çekirdek yükü, 376
iyonlaşma eşitlikleri, 709*n*
iyonlaşma izomerliği, 1076–1077
iyonlaşma potansiyeli, 375*n*
bakınız iyonlaşma enerjisi (I)
iyonlaşma potansiyeli, 919
iyonlaşma sabitleri, 709, 710*t*, 718ç, 726
iyonlaşma, 97
iyonlaştırıcı radyasyon, ve canlı maddeler, 1135
iyot, 382, 521ş, 656, 988, 989
iyotlama reaktifi, 994
izobütan, 1151
izobütil propiyonat, 84
izoelektrik nokta, 1280
izoelektronik, 372
izole sistem, 242, 242ş, 248, 250
izomerler, 95–96, 97, 500, 1076, 1148
cis izomer, 1077, 1079ş, 1163–1164, 1167,1228
fac izomer, 1079
mer izomer, 1079
optik izomerler, 1082, 1272
orto izomer, 1246
para izomer, 1246
stereoizomerler, 1076, 1149
tanımı, 1150
trans izomerler, 1077, 1078, 1079ş, 1097, 1098, 1163–1164, 1167, 1228–1229
yapı izomerleri, 1076
yapısal izomerler, 1149–1150
izomerleşme, 1161
izomerlik, 1076–1083
bağlanma izomerliği, 1077, 1078ş
cis-trans izomerliği, 1163–1164
geometrik izomerlik, 1077–1080, 1077ş, 1078ş
iyonlaşma izomerliği, 1076–1077
koordinasyon izomerliği, 1077
optik izomerlik, 1080–1082, 1108, 1272, 1272ş
özeti, 1169ş
stereoizomerlik, 1168–1175
ve Werner kuramı, 1082–1083
yapı izomerliği, 1148–1150
izooktan, 547
izopropil alkol, 97
izotaktik polimer, 1253–1254
izotermal genleşme ısısı, 839
izotermal, 244
izotonik çözelti, 580
izotopik kütleler, 46–48
izotoplar, 45, 45*n*
bakınız spesifik izotoplar
dört elementte dağılım, 55ş
kütleleri ve doğal bollukları, ve atom kütlesi, 50

J

jelatinler, 587
jeodezik kubbeler, 528
jeokronoloji, 1124–1125
jeotermal enerji, 280
Joliot-Curie, Iréne, 1117, 1117ş
Joule, James, 244ş, 291
Journal of College Science Teaching, 3*n*,*junction*, 483
Joule (J), 12, 243, 244, 254, 874, 1125

K

kaba formül, 69, 80–81, 83–84
kabarcık odaları, 1134–1135
kabartma tozu , 148–149, 682
kabuk kuramı, 1128
kadmiyum zehirlenmesi, 1058
kadmiyum, 1056–1058, 1056ç
kafeinsiz kahve, 523–524, 523ş
"kahve fincanı" kalorimetresi, 250–251, 252ş
kağıt, 5
kahverengi azot dioksit, 1012
kalay hastalığı, 965
kalay levha, 965
kalay, 918, 964–966, 965ç, 966
kalay(II) klorür, 966
kalay(IV) klorür, 966
kalay(IV) oksit, 965
kalayın zararı, 965
kalaylı, kalaylı kap, 965
kalomel elektrot, 886, 886ş
kalori(cal), 244
kalorimetre
  "kahve fincanı" kalorimetresi, 250–251, 252ş
  bomba kalorimetresi, 249–250, 249ş, 259
  tanımı, 248
kalorisiz yağlar, 1270
kalsinasyon, 939
kalsiyum florür, 786, 786ş
kalsiyum fosfat, 1017
kalsiyum hidrojen fosfat, 786, 786ş
kalsiyum hidroksit, 937, 1017
  ayrıca bakınız sönmüş kireç
kalsiyum karbonat, 164, 165, 938, 939
kalsiyum karbür, 957
kalsiyum metal, 922
kalsiyum oksit, 937
  ayrıca bakınız sönmemiş kireç
kalsiyum okzalat, 786ş
kalsiyum sülfat dihidrat, 1002
kalsiyum sülfat, 785
kalsiyum tuzları, 786ş
kalsiyum, 933, 935
  metal, 935
  su ile tepkimesi, 383–384, 384ş
kamış şekeri, 94, 250, 259, 262, 1276, 1289, 1289ş
kan alkol içeriği (BAC), 190
kanser terapisi, 1137
kanserle mücadele ilaçları, 1097–1098
kapalı sistem, 242, 242ş
kapasite özelliği, 13, 14
kararlı elektron çifti etkisi, 946
kararlı hal yaklaşımı, 632–635
kararlı haller, 307
karbokatyon, 1216, 1241
karboksil grubu, 97, 98ş, 710, 1186
karboksilli asit, 97, 98ş, 713, 1153, 1186–1188, 1243
karboksipeptidaz, 1290–1291, 1291ş
karbon çevrimi, 955–956, 955ş
karbon dioksit, 82, 954–956
  apolar moleküller, 431
  atmosferik karbon dioksit, 277, 277ş
  elektrostatik potansiyel haritası, 431ş
  faz diyagramı, 522, 523ş
  karbonatlı içecekler, 571
  küresel ısınma, 276–278
  kuru buz, 521
  Lewis yapısı, 401
karbon disülfür, 564, 566, 576–577, 957
karbon monoksit zehirlenmesi, 1054
karbon monoksit, 473ş, 851, 954, 956, 1018
karbon siyahı, 953
karbon tetraklorür, 69, 957
karbon zincirleri, 96
karbon-12, 44, 46, 47, 48, 51ş, 54, 73, 1111
karbon-13, 55, 1111
karbon-14, 48, 1111
karbon-hidrojen-oksijen bileşikleri, yanması, 115
karbon, 453, 918, 951–957, 1018
  asimetrik karbon, 1169
  birincil karbon, 1151
  elmas. *bakınız elmas*
  grafen, 953, 953ş
  grafit. *bakınız* grafit
  halleri, 527, 953–954
  hazırlanmasının endüstriyel yöntemleri, 955ç
  hidrokarbonlar. *bakınız* hidrokarbonlar
  ikincil karbon, 1151
  inorganik karbon bileşikleri, 957
  karbon atomlarının sınıflandırılması, 1152ş
  karbon elementi, 1256
  karbonun allotropları, 527–529, 953
  karbonun oksitleri, 38
  karşılaştırma silisyum, 951, 951ç
  kimyasal formülü, 44
  kiral karbon, 1169, 1170–1171
  kuarterner, 1151
  kullanımları, 952–954
  kütle, 38
  merkez atomlar, 409
  organik bileşiklerde karbon atomu, 94
  tersiyer karbon, 1151
  üretimi, 952–954
  ve hidrojen gazı, 268
  ve organik bileşikler, 1148
karbonat grubu, 805–806
karbonatlar
  alkali metaller, 928–930
  toprak alkali metaller, 938–939
karbonatlı içecekler, 571
karbonhidrat metabolizması, 1287
karbonhidratlar, 275, 1101, 1271–1278
  biyokütle, 1278
  dekstrorotatori, 1272
  diastereomerler, 1274
  disakkaritler, 1276
  fotosentez, 1277–1278
  ışıksız tepkimeler, 1278
  karbonhidrat metabolizması, 1287
  monosakkaritler, 1271, 1275–1276
  mutlak konfigürasyon, 1272–1273
  oligosakkaritler, 1271
  polisakkaritler, 1271, 1277, 1278ş
  rasemik karışım, 1274
  şekerler, 1271, 1278
  tanım, 1271
karbonik anhidraz, 1297
karbonil grubu, 1184
karbonun allotropları, 527-529, 953
karbürler, 957
karışım
  bakınız çözeltiler
  gazlar, 212–216
  heterojen karışımlar, 6, 558*n*, 564
  homojen karışım, 6, 558
  karışımların ayrılması, 6–7, 7ş
  kolloidal karışımlar, 587–589
  mol kesri, 214
  moleküllerarası kuvvetler, 563–565
  rasemik karışım, 1082, 1274
  tanım, 6
karışımları ayırma, 7ş
karşıt bağlayıcı molekül orbitalleri, 465ş, 466
kartezyen koordinat sistemi, 324, 324ş, 333
kassiterit, 965
katabolizma, 1286
katalitik hidrojenleme, 1240
katalitik kırma birimi, 1161ş
kataliz, 637–642
  enzimler, 640–642, 640ş
  geçiş metal katalizörleri, 1035
  heterojen kataliz, 638, 638ş
  hidrojen peroksit, 638–640
  homojen kataliz, 637, 637ş
  yüzey-katalizli tepkime, 639ş
katalizör, 116, 605*n*, 637, 678–679
  ayrıca bakınız kataliz
katı yoğunlukları, 14, 504
katılar
  ağ örgülü kovalent katılar, 526–527
  amorf katılar, 962
  basınç tarafından uygulanan, 194ş
  çözünmeyen katı, 14, 156, 157
  denge, 667–669
  donma noktası, 520
  donma, 520
  dövülebilirlik, 4
  düzensiz şekillenmiş katı, 15–16
  erime ısısı, 520–521
  erime noktası, 520–521
  erime, 244, 263, 520–521
  faz diyagramları, 522–526
  iyonik katılar, 158*t*, 159, 529–530
  katı çözeltiler, 6
  katıların etkinliği, 845
  kırağılaşma, 521
  kristaller. *bakınız* kristaller
  kusurlar, 554–555
  özellikler, 520–521
  standart hal, 264–265
  süblimleşme, 521
  tanımı, 7
katılımcı karışım, 1090, 1091ş
katılma bileşiği, 732
katılma tepkimesi, 1182, 1209, 1239-1243
  halojenleme, 1242-4243
  halojenler, 1242-1243
  hidratlaşma, 1241-1242
  hidrojen halojenürler, 1240-1241
  hidrojen, 1240
  hidrojenleme, 1240
  su, 1241-1242
katılma ürünü, 732, 943
katılma
  anlamlı sayı kuralları, 22, 23
  mutlak hata, 20
katlı oranlar yasası, 38
katodik koruma, 895
katot ışını tüpü (CRT), 39, 39ş
katot ışınları, 39, 40, 40ş
katot, 39, 864, 865, 867, 891
katyon, 72
  büyüklük, 373
  elektron dizilişi, 366
  göç, 865
  hidratlaşmış formu, 1093
  iyon çiftleri, 155*n*
  izoelektronik, 372
  koordinasyon bileşiklerinde, 1075
  nitel katyon analizi, 805–809
  polarlanma, 919, 919ş

kavurma, 212, 966, 1038
kayık konformasyonu, 1163
kaynama noktası yükselmesi, 581–584, 582ç
kaynama noktası, 501, 501ş, 517–518, 827, 850, 1155ç
kaynama, 517–518
kaynaşık benzen halkaları, 1179
kefeli terazi,19ş
Kekulé, August, 1180
Kekulé, Friedrich, 474
kelat etkisi, 1095
kelat, 1074, 1074ş
kelatlaşma etkisi, 1095
kelatlaşma reaktifi, 1074
kelatlaşma, 1074, 1101
kelime kökü, 94ç
Kelvin ölçeği, 10, 200
kelvin, 10, 200
  Boltzmann sabiti, 303
  gaz, 222
  pikokelvin, 222
kendi kendine iyonlaşma, 703–706
kendi kendine iyonlaşma, 703–706, 792, 943
kesik çizgili kamalı gösterim, 1148, 1148ş
kesikli spektrum, 300
kesin miktar, 21
kesinlik 18, 56
  alkol içeren tepkime ürünleri, 1238–1239
  ana ayrılma ürünü, 1228–1229
  aromatik yerdeğiştirme tepkimeleri, 1247
  ayrıca bakınız özel önekler
  ayrılma tepkimeleri, 1232–1233
  Bohr kuramının, 308
  buhar basıncı verileriyle, 514–515
  çekirdekler ve radyoaktiflik, 1130
  çökelme tepkimeleri, 157–159, 158ş
  çözelti oluşumu, 565
  elektrolit çözeltilerin koligatif özellikler, 586
  elektroliz tepkimeleri, 896–898, 899
  elektrot potansiyel verileriyle, 878
  entropi değişimleri, 826
  hidroliz tepkimeleri hakkında, 725
  ideal çözeltilerin buhar basınçları, 91, 94ş, 1075, 1272
  istemli değişme, yönü, 835, 843
  iyonik bileşikler, fiziksel özellikleri, 530
  kompleks iyonların tepkimeleri, 801
  kristal alan kuramını kullanarak, 1090
  manyetik özelliklerinden kompleksin yapısı, 1090
  net yük, yönü, 672–673, 672ş
  öngörüler
  örgü enerjisi kullanarak, 543
  SN1tepkimeleri, 1232–1233
  SN2 tepkimeleri, 1232–1233
  tampon çözeltiler, 752
  yükseltgenme-indirgenme tepkimeleri, 1048
kesinlik, 18
kesirli bolluk, 48
kesirli katsayılar, 114
kesirli sayılar, 81, 114
keşif balonları, 210, 980
ketonlar, 1184–1186
Ketterle, W., 222*n*
Khriachtchev, L., 981*n*
kılcal etki, 509, 509ş
kılcal tüpler, 509
kırağılaşma,521
kırılgan, fiziksel özellik olarak, 4
kırınım, 299, 358
  X-ışını kırınımı, 535–537, 535ş, 536ş
kırmızı fosfor, 1014
kırmızı kan hücresi, 580ş
kırmızı kurşun, 966
kırmızı, 1090, 1091
kısa devre, 890
kısa ikosahedron, 527
kısmen iyonlaşan çözünen, 152, 153
kısmi bağlar, 624
kısmi basınç, 213, 214, 617
kısmi oluşan bağlar, 631
kıvılcım saçma sayacı, 1135
kız, 1116
kızıl ötesi (IR) spectroskopisi, 1205
kızıl ötesi ışıma, 277
kızıl ötesi spektrometresi, 1206
kızıl ötesi spektrumu, 1206
Kielpinski, D., 222*n*
kilogram (kg), 9, 13
kilokalori (kcal), 244
kilopaskal (kPa), 193
kimyada Nobel Ödülü, 956, 1213
kimyadaki ilk bilgiler, 2
kimyadaki ilk keşifler, 35–38
kimyasal bağlanma
  atom orbitali örtüşmesi, 451, 451ş, 461
  atom orbitallerinin melezleşmesi, 453-460
  bağ ayrışma enerjisi, 435
  bağ derecesi, 433-434, 467, 468, 472
  bağ enerjileri, 434-437, 468
  bağ kuramı, amacı, 450-451
  bağ uzunlukları, 433, 434, 433ç
  bağlanma, 486
  bağlanmada lokalize elektron modeli, 451
  bağlayıcı molekül orbitali, 465
  bağlayıcı ve karşıt bağlayıcı orbitallerinin oluşumu, 465ş
  band kuramı, 481-482, 481ş, 482ş
  birinci periyot elemntlerinin iki atomlu molekülleri, 467, 467ş
  çoklu kovalent bağlar, 428-429, 461-465
  çözümlenmemiş sorunlar, 484-489
  değerlik kabuğu genişlemesi, 419-421
  değerlik-bağ yöntemi, 451-452
  delokalize elementler, 474-480
  eksik oktetler, 418-419
  elektron denizi modeli, 480-481, 481ş
  elektron yük yoğunluğu grafiği, 484-489
  elektronegatiflik, (EN), 404-407, 405ş
  elektrostatik potansiyel haritaları, 402-408
  iyonik bağlar, 69, 396
  kompleks iyonlar, 1083-1088
  kovalent bağlar, 69, 383, 396, 397, 399-402
  kükürt diklorür, 485-487, 486ş
  kükürt heksaflorür, 484-487
  Lewis kuramı, 396-398
  Lewis simgesi, 396-397
  Lewis yapısı, 396-398, 408-415
  merkez atom, 408
  merkez atom, 408, 409
  metalik bağlar, 72, 383, 406
  metaller, 480-484
  molekül biçimi, 421-432
  molekül orbital kuramı, 465-474
  oktet kuralı, istisnaları, 418-421
  ortalama bağ enerjisi, 435, 435ş
  periyodik eğilimler, 977-979
  pi (π) bağı, 461ş, 462, 462ş, 463
  polar kovalent bağlar, 402-408
  rezonans, 416-417
  sigma (σ) bağı, 461ş, 462, 462ş, 463
  sülfat anyonu, 487-488, 487ş
  sülfürik asit, 487-488, 487ş
  tek elektron (ortaklanmamış elektron) türleri, 418
  yarı iletkenler, 482-484
kimyasal bileşikler, *bakınız* bileşikler
kimyasal değişim, 5, 7, 7ş
  ayrıca bakınız kendiliğinden değişim
kimyasal elementler, *bakınız* elementler
kimyasal enerji, 248
kimyasal eşitlikler
  asit-baz tepkimeleri için, 165
  basınç ve hacim değişimleri, 199
  çekirdek eşitliği, 1112
  Clausius- Clapeyron eşitliği, 515-517
  denkleştirilmiş eşitlik, 113
  denkleştirilmiş, 113*n*
  eşitliğin iyonik şekli, 157, 158, 163
  eşitliğin tam formül şekli, 157
  eşitlik denkleştirme, 113, 114–115
  genel gaz eşitliği, 204–206, 207
  ideal gaz eşitliği. *bakınız* ideal gaz eşitliği
  integral numaraları, 114
  katsayılar, 116
  kesirli katsayılar, 114
  kesirli sayılar, 114
  kontrollü denkleştirme, 113
  maddenin halleri, 115
  metalurji süreçleri için, 1039
  net eşitlik, 137–138
  net iyonik eşitlikler, 157, 164
  standart oluşum entalpileri, 270
  stokiyometrik katsayılar, 113
  tepkime özeti diyagramları, 925, 944–945
  van der Waals eşitliği, 227–229
  ve kimyasal tepkimeler, 112-116
  ve stokiyometri, 116–123
  yarı-eşitlik, 170–172, 171ç
  yükseltgenme- indirgenme eşitlikleri, 170–175
  yükseltgenme- indirgenme tepkimeleri, 168–169
kimyasal formüller, 36, 68, 69–72
  alt indisler, 69, 80, 81
  bileşiklerin isimleri verilmişse, 88
  bileşiklerin yüzde bileşiminin deneysel olarak belirlenmesi, 79–81
  çizgi-açı formülü, 70
  formüller verildiğinde bileşiklerin adlandırılması, 89
  formüllerin yazılmasında farklı kurallar, 93
  kaba formül, 69, 80–81, 83–84
  merkez noktalar, 92
  mol temelli, 79
  molekül formülü, 69, 75–76, 80–81
  tanımı, 69
  yapı formülü, 69–70, 100
  yoğun yapı formülü, 70
  yüzde bileşim, 77–81
kimyasal kinetik
  Arrhenius eşitliği, 627–628
  birinci-dereceden tepkimeler, 612–619
  çarpışma kuramı, 622–624

derişim, etkisi, 608–611
geçiş hali kuramı, 624–626
hız yasası, 608–611
ikinci-dereceden tepkimeler, 619–620
integrali alınmış hız yasası, 611–612, 613–615, 620
kataliz, 637–642
kompleks iyonlar, 1096
kuramsal modeller, 622–626
özet, 620–622, 621ç
sis, 635–636
sıcaklık, ve tepkime hızları, 626–629, 627ş
sıfırıncı-dereceden tepkimeler, 611–612, 612ş
tanımı, 602
tepkime derecesi, 609–610, 621–622
tepkime hızı, 603–604
tepkime hızlarının ölçülmesi, 605–608
tepkime mekanizmaları, 629–636
yalancı birinci dereceden tepkimeler, 620
kimyasal özellikler, 5
kimyasal simgeler, 44
kimyasal tepkimeler, 5
alkanlar, 1248–1250
alkoller, 1234–1239, 1235ç
ardışık tepkimeler, 132–138, 135–136
asit-baz tepkimeleri, 160–165
ayrılma tepkimesi, 1209
bir tepkime sonrasında kalan aşırı tepken(ler), 131
bozunma tepkimeleri, 116
çekirdek tepkimeleri, 1117–1118, 1125–1128
çevrilme tepkimeleri, 1210
çiftlenimli tepkimeler, 851–852
çökelme tepkimeleri, 156–160
çökelme, 151–152
çözelti molaritesi, 111
çözelti stokiyometrisi, 111
çözeltide, 123–128
egzergonik tepkimeler, 1286
ekzotermik tepkime, 437
element ve bileşiklerin tanınması, 940–941
endergonik tepkimeler, 1286
endotermik tepkime, 437
entalpi değişimleri, 261–263
eşik enerjisi, 623, 624
fotokimyasal tepkimeler, 306–307
gaz oluşum tepkimeleri, 164ç
gerçek verim, 132, 133
hidrojenleme tepkimeleri, 1019
iç enerji değişimleri, 261–263
indirgenme yarı-tepkimesi, 383
kanıtı, 112ş
katılma tepkimeleri, 1182, 1209, 1239–1243
kendiliğinden olan tepkimeler, 132–138, 136–137
kimyasal tepkimelerde gazlar, 210–212
kuramsal verim, 132, 133
maddenin halleri, 115
molekül çarpışmaları, frekansı, 622–623, 624ş
net tepkime, 137–138
nötralleşme tepkimesi, 163
organik bileşikler. *bakınız* organik tepkimeler
sabunlaşma tepkimeleri, 1301
sentez tepkimesi, 116
sınırlayıcı tepken, 129–131, 129ş
standart tepkime entalpisi, 270–273
sulu çözeltilerde. *bakınız* sulu çözelti
tanımı, 112
tepkenler. *bakınız* tepken
tepkime derecesi, 609–610, 621–622
tepkime hızı. *bakınız* tepkime hızı
tepkime ısısı. *bakınız* tepkime ısısı
tepkime koşulları, 116
tepkime profili, 624, 625ş
tepkime stokiyometrisi, 111, 117, 132–138
tersinir tepkimeler, 113, 155
titrasyonlar, 177–181
ve kimyasal eşitlikler, 112–116
yan tepkimeler, 132
yanma tepkimeleri 114
yapılar ve mekanizmalar, ve çekirdek kimyası, 1138
yarı ömür, 615
yarı tepkimeler, 167–169, 170
yarılma tepkimeleri, 174
yerdeğiştirme tepkimeleri, 384
yerdeğiştirme tepkimesi, 1182, 1209
yükseltgenme indirgenme tepkimeleri. *bakınız* yükseltgenme indirgenme tepkimeleri
yüzde verim, 132, 133, 134
kinetik enerji, 242, 243, 243ş, 623, 623ş
öteleme kinetik enerji, 255
kinetik kontrol, 669, 670
kinetik. *bakınız* kimyasal kinetik
kinolin, 1240
kiral karbon, 1169, 1170–1171
kiral, 1080
kirallik, 1169–1171
Kirchhoff, Gustav, 301
kireç taşı, 164, 784, 810–811, 930, 938, 939, 969, 1004
kireç, 810–811
kireçlenme skalası, 960
Kjeldahl metodu, 190
klasik dalga kuramı, 303
klor dioksit, 993
klor iyonu, 72
klor-alkali işlemi, 826, 902–904
klor, 51, 382, 978, 985, 987ş
elektrostatik potansiyel haritası, 403ş, 404
erime noktası, 383
grup 17 elementi, 52
izotoplar, 55ş
oksiasitler, 991
üretimi, 988, 989
klorasetik asit, 730
klorat tuzları, 993
klorbenzen, 1245
kloretan, 1256
klorlama, 1243ş, 1248
klorlayıcı, 761
klorlu beyazlatıcılar, 176
klorlu su, 992
klormetilsikloheksan, 1164
klorofil, 307, 1101, 1101ş
kloroflorokarbonlar(CFC ler), 278, 602, 988
kloroform, 576
klorür grubu çökelekleri, 806–807
koagülasyon, 588
kobalt-samaryum, 1059
kobalt, 1052
kobalt(II) klorür heksahidrat, 93
kodein, 726
kohesiv kuvvetler, 508
kok, 954, 1018
kokain, 712, 726
kolligatif özellikler, 579, 586
kolligatif özellikler, 584–586
kolimatörler, 221
kolloid, 587–589, 589ç
koloidal karışımlar, 587–589
koltuk konformasyonları, 1163, 1166ş
kok distillasyonu,954
kompleks iyon dengeleri, 799–804
çökelek oluşumu, kompleks iyonların çözeltilerinde, 802
kompleks iyon içeren tepkimelerin öngörülmesi, 801
kompleks iyonlar oluştuğunda çözünen maddenin çözünürlüğü, 804
kontrollü derişim, 802–803
koordinasyon bileşikleri, 800
oluşum sabit (K_{ol}), 800, 801ç
yönü, 1093–1095
kompleks iyonlar oluştuğunda çözünenin, 804
kompleks iyonlar, 733, 734, 784, 792, 799–800, 809ş
asit baz tepkimeleri, 1095–1096
ayrıca bakınız kompleks iyon dengeleri;
bağlanma, 1083–1088
basamaklı ve net oluşum (kararlılık)
Brønsted–Lowry asit ve bazları, 1095
izomerlik, 1076–1083
kinetik kabuller, 1096
koordinasyon bileşikleri
koordinasyon sayısı, 1071, 1072
kristal alan kuramı, 1083–1088
labil, 1096, 1096ş
Lewis asitler ve bazları, 1072, 1095
merkez metalin yükseltgenme basamağı, 1072
sabitler, 1094ç
soy, 1096, 1096ş
sulu kompleks iyonlar, 1096
yapıları, 1071ş
kompleksler, 1071
adlandırma, 1075–1076
ayrıca bakınız koordinasyon bileşikleri
renkler, 1090–1093
spektrokimyasal seriler, 1093
komşu dihalojenürler, 1242
konformasyonlar, 1155–1159, 1158ş, 1163, 1166ş
kontak yöntemi, 1001
kontrol çubukları, 1132
kontrollü olarak denkleştirme, 113
koordinasyon izomerliği, 1077
koordinasyon bileşikleri, 800, 1070
adlandırma, 1075–1076
anyonları takip eden katyonlar, 1075
ayrıca bakınız koordinasyon kimyasının kompleks iyon uygulamaları
bakınız koordinasyon kimyası
izomerlik, 1076–1083
ligandlar, 1072–1074
manyetik özellikler, 1088–1090
renkler, 1092ş, 1092ç
tanımı, 1071
Werner'in koordinasyon bileşikler kuramı, 1070–1072
koordinasyon bileşiklerinde Werner kuramı, 1070–1072, 1082–1083, 1070–1072, 1082–1083
koordinasyon kimyası, 1097–1102
ayrıca bakınız koordinasyon bileşikleri
biyolojik uygulamaları, 1101
cisplatin, 1097–1098

fotoğraf filmi sabitleme, 1099
hidratlar, 1098
iyon tutucu metal iyonları, 1100–1101
kararlı yükseltgenme basamağı, 1098
nitel analiz, 1099
porfirinler, 1101
koordinasyon sayısı, 533–534, 1071, 1071ç,1072
koordinasyon, 732
koordine kovalent bağ, 399–400, 732, 1072
korindon, 949
korozyon, 894–895, 894ş
Kossel, Walther, 396
kovalent bağlar, 69–70, 383, 396, 397, 399–402
ayrıca bak coordinate kovalent bağda kimyasal bağlanma, 399–400, 732, 1072
çoklu kovalent bağlar, 401, 461–465
giriş, 399–402
ikili kovalent bağ, 401
polar kovalent bağlar, 402–408
tekli kovalent bağ, 399
üçlü kovalent bağ, 401
kovalent bileşikler, 1034–1035
kovalent hidrürler, 1018
kovalent olmayan etkileşimler, 507ç
kovalent yarıçap, 367, 368ş, 373, 373ş
kök, 94*t*
kömür, 275, 278–279, 1004, 1018
kömürü gazlaştırılması, 278–279
köprülü halonyum iyonu, 1243
kral suyu, 1055
kral suyu,1055
kreatin, 580
kripton, 345, 365, 979, 980
atom kütlesi, 50
kristal alan kuramı
bir kompleksin yapısının tahmini, 1090
kompleks iyonlarda bağlanma, 1083–1088
koordinasyon bileşiklerinin manyetik özellikleri, 1088–1090
kristal alan yarılması, 1084, 1086ş, 1087ş, 1092
kristal katılar. *bakınız kristal*ler
kristal örgüler, 530–531
kristallendirme suyu, 924
kristaller, 7, 530–542
bir yapıda hacim boşlukları, 534
birim hücre başına atom sayısı, 533–534, 534ş
birim hücre, 530, 531ş, 540, 541ş
hekzagonal sık istiflenme (hsi), 531, 533ş
iç merkezli kübik, 531
iyonik kristal yapılar, 538–542
iyonik kristal, 398, 398ş, 529, 542–544
koordinasyon sayısı, 533–534
kristal bir katının yoğunluğu, 537
kristal örgüler, 530–531
kübik sık istiflenme, 531, 533ş
oktahedral boşluklar, 538ş
örgü enerjisi, 529, 542–544
özellikleri, 542*t*
sık istiflenmiş yapılar, 531–533, 532ş, 533*t*
türleri, 542
X-ışın kırınımı, 535–537, 535ş, 536ş
yüzey merkezli kübik (ymk), 531
kritik kütle, 1131
kritik nokta, 518, 519ç
kriyolit, 947, 949
Kroll işlemleri, 1042
krom kaplama, 901
krom, 51, 346, 1034, 1041, 1047–1050
normal olmayan elektron dizilişi, 342
krom(II) bileşikleri, 1050
kromat iyonu, 1049
kromat tuzları, 1049
kromatografi, 7, 7ş
kromit, 1041, 1047
kronometre, 1057ş
ksenon florürler, 984
ksenon tetraflorür, 981ş
kuantum kuramı, 302–307
alfa (α) parçacıkları ve çekirdek, 1113–1114
belirsizlik ilkesi, 314–317, 316ş
dalga mekaniği, 317–324
dalga parçacık ikiliği, 313–314, 1114
fotoelektrik etki, 303–306, 304ş
fotokimyasal tepkimeler, 306–307
Planck sabiti, 302, 304
Schrödinger eşitliği, 323–324
siyah cisim ışıması, 302, 303, 306
tanımı, 294
ve periyodik çizelge, 344–348
kuantum parçacıkları, 318–322
kuantum sayıları, 308, 320, 324–326
açısal orbital momentum kuantum sayısı, 324
arasında ilişkiler uygulayarak, 325
baş kuantum sayısı, 324
dört kuantum sayısının uygun kombinasyonu,335–336
elektron spini, 333–335, 379
hidrojen atomunun elektron yapısı, 335–336
kuantum sayılarının belirlenmesi, 324–325
manyetik kuantum sayısı, 324
orbital gösterimleri, 326
kuantum, 302
kuarterner amonyum iyonu, 1191
kuarterner, 1151
kuramsal verim, 132, 133
kurban anot, 895
kurşun (II) klorür, 808, 966
kurşun (II) sülfür, 965–966
kurşun (IV) klorür, 966
kurşun zehirlenmesi, 967
kurşun-asit pili, 889–890
kurşun, 918, 964–966, 965ç, 966
izotopları, 55ş
kimyasal simgesi, 44
kurşun oksitleri, 86
özgül ısısı, 246ş
kuru buz, 521
kuru hücre, 888–889
kuru temizleme, 945
kusurlar, 554–555
kutuda tanecik modeli, 318–322, 823, 823ş
kuvvetler, 1127
kuvvetli asitler, 160–161, 161ç, 251, 701ş, 706–708, 708*t*
karşılaştırma zayıf asitler, 709ş
kuvvetli asidin kuvvetli bazla titrasyonu, 762–765, 764ş, 765*f*
kuvvetli asidin suda çözünmeyen tuzu 798
kuvvetli bazlar, 161ç, 162, 706–708, 708*t*
kuvvetli asidin kuvvetli bazla titrasyonu, 762–765, 764ş, 765ş
zayıf asidin kuvvetli bazla titrasyonu, 765–768, 765ş, 768ş
kuvvetli elektrolit, 152–153, 154, 154ş, 155, 155*n*, 156
kuvvetli nükleer güç, 1127
kuvvetli-alan ligandları, 1085
kübik örgü, 530, 530ş
kübik sık istiflenme, 531, 533ş
kükürt bileşikleri, 1000–1003
kükürt buharı, 999
kükürt diklorür, 485–487, 486ş
kükürt dioksit, 665, 1001, 1003–1004
kükürt heksaflorür, 484–487
kükürt oksitler, 276, 1001, 1001ş
kükürt trioksit, 979, 1001
kükürt, 1ş
bileşikler, 1000–1003
bulunuşu, 996–997
dövülebilirlik, 4
elektrot potansiyel diyagramları, 1000ş
erime noktası, 383
faz diyagramı, 1029, 1029ş
Frasch işlemi, 996, 997ş
halojenürler, 1003
karşılaştırma oksijen, 994–995, 995ç
kırılganlık, 4
kükürt allotropisi, 999
kükürtte polimorfizm, 999
kullanımları, 996–997
makroskopik haller, 1000ş
molekül halleri, 76ş, 998ş
oksianyonları, 1003ş
renk, fiziksel özelliği, 4
üretimi, 996–997
kükürtün polimorfizmi, 999
küreler, 531
küresel atom modeli, 41, 41ş, 43ş
küresel ısınma, 276–278
küresel polar koordinatlar, 324, 324ş
kütle enerji ilişkisi, 1126
kütle kaybı, 1126
kütle numarası *(A)*, 44, 47, 1128ş
kütle spektrometresi, 46–47, 47ş, 54, 65
kütle spektroskopisi, 47
kütle spektrumu, 47, 47ş
kütle
atom kütles. *bakınız* atom kütlesi
birbirine göre iki tepken, 119
hacim ve yoğunluk, 15
izotop kütleleri, 46–48
izotopların ve elementlerin atom kütlesi, 50
kapasite özellikleri, 13
kütlece yüzde, 17
kütlenin korunumu yasası, 35–36, 35ş
molekül hızlarının dağılımı, 219ş
noktasal kütleler, 216
SI temel birimleri, 13
tanımlanmış, 4
tepken ve ürünün, 118–119
ürün hacmi ve tepken çözeltisinin molar derişimi, 128
kütle/hacim yüzdesi, 558–559
kütlenin korunumu yasası, 35–36, 35ş
küvet kiri, 960

L

labil olmayan kompleks iyonlar, 1096
labilkompleks iyonlar, 1096, 1096ş
laktaz, 640
laktik asit, 710ş
laktoz, 1276
lance, 1045

Langmuir, Irving, 396
lantan, 1059, 1060
lantanit büzülmesi, 1032
lantanit oksitleri, 1031
lantanitler, 52–53, 364, 1059
lantanoitler, 1059
lauril sülfat anyonu, 932
Lavoisier, Antoine, 35, 65
lavrensiyum, 51
lazerler, 304
Le Bel, Joseph, 1150
Le Châtelier ilkesi, 569, 673, 760, 797
  basınç ve hacimdeki değişiklikler, ve denge, 675–677
  çözünürlük dengesi, 788–789
  denge karışımına daha fazla tepken ilave edilmesi, 674
  denge koşullarında değişiklik, 673–676
  derişimler, değişmeleri, 880
  ileri tepkime, asidik çözeltilerde, 1049
  ilkeler, 569, 673
  katalizör ve denge, 678–679
  metal sülfürler, 809
  özütlemek, 1043
  sıcaklık değişimleri, ve denge, 677–678
  yarılma tepkimesi, 992
Le Châtelier, Henri, 673
Leanhardt, A.E., 222*n*
Leclanché (kuru) hücresi, 888–889
Leclanché, George, 888
lehim, 558*n*, 965, 1057
lesitinler, 1271
levo-öneki, 1272
Lewis asitleri, 732–735, 943, 949, 1072, 1095
Lewis bazları, 732–735, 943, 994, 1072, 1095
Lewis kuramı
  bağ yapan çift, 399
  bağ yapmamış çift, 399
  elektron çiftleri, önemi, 399
  genel bakış, 396–398
  iyonik bağlar, 396
  kovalent bağ, 396
  Lewis simgesi, 396–397
  Lewis yapısı, 396–398, 400, 408–415
  molekül şekli, 399
  nicel bilgi, 450–451
  oktet, 396, 418–421
  sekiz kuralı, 485
  soy gazlar, 980
  tekli kovalent bağ, 467
  temel fikirler, 396
Lewis simgesi, 396–397, 397
Lewis yapısı, 396–398, 408–415
  basit Lewis yapılar, 400
  bir rezonans melezinin, 417
  çok atomlu iyon, 411–412
  formal yük, 412–414
  genişlemiş değerlik kabuğu, 419–421, 488
  iskelet yapısı, 408–409
  iyonik bileşikler için, 397–398
  Lewis yapısının yazılması, 408–415
  oktete dayalı, 428
  rezonans Lewis yapıları, 731ş
  tanım, 396
  tartışma, 488–489
  temel özellikleri, 408
  yazmak için genel bir strateji, 409–411
Lewis, Gilbert Newton, 396, 396ş, 659, 659*n*,914
ligant alan kuramı, 1083
ligantlar, 799, 1071, 1072–1074, 1075, 1085, 1092ş
lignin, 1002
Lindlar katalizörü, 1240
lipid metabolizması, 1287
lipidler, 1268–1271
litre (L), 12
litre-atmosfer (L atm), 254
lityum aluminyum hidrür, 926
lityum hidroksit, 928
lityum karbonat, 929
lityum klorür, 926
lityum stearat, 932
lityum-iyon pili, 891–892, 892ş
lityum-iyon polimer pilleri, 892
lityum, 481, 481ş, 920, 922
  amonyak, varlığında, 930
  aşırı oksijen, tepkimesi, 926, 927
  magnezyum ile çapraz ilişkisi, 940
  metal, 923
  üretimi, 922
  yükseltgenme, 923
logaritma, 704
Lohmann, Derek H., 981
lokalize elektron bağ modeli, 451
London kuvveti, 499, 982
Londsdale, Kathleen, 474ş
Lowry, Thomas, 160, 161, 698
lösin, 270
Lundell, J., 981*n*
lutetyum, 51, 1059

M

madde dalgaları, 314, 318ş, 320
madde denkliği, 771
madde için sınıflandırma şeması, 6ş
madde ölçümü, 8–13
  anlamlı sayılar, 19–23
  bilimsel ölçümlerdeki belirsizlikler, 18–19
  kütle, 9–10
  nicel ölçü, 13
  rastgele hatalar, 18
  SI olmayan birimler, 12
  sistamatik hatalar, 18
  sıcaklık, 10–11
  türetilmiş birimler, 12
  zaman, 10
madde
  bileşim, 4
  canlı madde. bakınız *canlı madde*
  fiziksel özellik, 4
  ışık madde etkileşmeleri, 303
  ışıma, etkisi, 1134–1137, 1135ş
  kapasite özelliği,13
  kimyasal özellik, 5
  kütle, 9–10
  madde ölçümü, 8–13
  madde özellikleri, 4–5
  maddenin halleri, 7–8, 13–14, 263, 264
  makroskobik bakış, 8ş
  mikroskobik bakış, 8ş
  SI (metrik) birimler, 8–13
  SI olmayan birimler, 12
  şiddet özelliği,13
  sıcaklık, 10–11
  sınıflandırılması, 5–8
  sınıflandırma şeması, 6ş
  tanım, 4
  transferi, sistemle çevre arasında, 242
  türetilmiş birimler, 12
  zaman, 10
maddeler, 6
maddelere mikroskobik bakış, 8ş
maddenin halleri, 7–8
  entalpi değişimleri, 263, 264
  kimyasal tepkimeler ve kimyasal eşitlikler, 115
  ve yoğunluk, 13–14
maddenin makroskobik görünüşü, 8ş
maddenin sınıflandırılması, 5–8
  bileşiklerin bozunması, 7
  karışımların ayrılması, 6–7, 7ş
  maddenin halleri, 7–8
magenta, 1090, 1101
magnalyum, 25
magnezya sütü, 164, 797ş
magnezyum klorür, 72, 73, 153, 154, 544
magnezyum nitrür, 1007
magnezyum-aluminyum alaşımları, 136
magnezyum, 37, 923, 933, 1007
  deniz suyundan özütlenmesi, 156–157
  Dow işlemi, 935–936, 935ş
  izotoplar, 55ş
  kurban anot, 895
  lityum ile çapraz ilişkisi, 940
  metal, 935–936
  radyal olasılık dağılımı, 369ş
  üçüncü periyot elementlerinin iyonlaşma enerjisi, 376, 376ç
  yoğunluk, 936
magnezyum nitrat, 73
makromolekül aralığı, 1271
makromolekül, 1251
makroskopik tanım 824
maksimum entropi, 840
malahit, 36ş, 92
maleik asit, 743
maltaz, 1287
maltoz, 1276
mangal kömürü, 282, 954
mangan dioksit, 902, 1051
mangan, 190, 1034, 1041, 1050–1051
  elektrot potansiyel diyagramları, 1051
  paramanyetizma, 379–380
Manhattan Projesi, 224–226
manometreler, 195–197, 196ş
manyetik alan, 39, 295
  elektron spinleri, 334
  etkisi, 39ş
  katot ışınları, sapması, 40
  net manyetik alan, 334
manyetik kuantum sayısı, 324
manyetik özellikler, 379–380, 1088–1090
manyetik rezonans görüntüleme (MRI), 980, 1059
manyetizma, 38, 1036
  ferromanyetizma, 1036, 1036ş
  paramanyetizma, 379–380, 401, 401ş, 418, 1036ş, 1088ş
margarinler, 1270
Mars İklim Ölçme Uydusu (MCO), 12–13, 32
Mars Keşif programı, 12–13
Mars polar lander (MPL), 12–13
Mars sondası, 890
Marsden, Ernst, 42
mat bakır, 1042
mavi, 1090, 1091
Maxwell hız dağılımı, 218–221, 218ş, 219ş, 221, 221ş
Maxwell, James Clerk, 218, 295, 303
mayalanma, 279, 1278
Meitner, Lise, 1130
melamin, 490

melez atom orbitali, 457
melez orbitaller, 453
  elektron-grup geometrisi, 458–459, 459ş
  geometrik yönlenmeler, 459ç
  sp melez orbitaller, 456
  sp^2 melez orbitaller, 455–456, 455ş
  sp^3 melez orbitaller, 453, 454ş, 455
  sp^3d melez orbitaller, 457, 458ş
  sp^3d^2 melez orbitaller, 457, 458ş
  VSEPR kuramı, 458–460
melezleşme şeması, 454–455, 454ş
melezleşme, 453–460
  deneysel veriler, kullanımı, 464
  melez atom orbitali, 457
  molekül şekilleri, 459–460
  pi (π) bağı, 463
  sigma (σ) bağı, 463
  su ve amonyakta bağlanma, 455
melezleşmemiş *p* orbitalleri, 455
Mendeleev, Dmitri, 53, 361, 362ş, 985
menisküs, 509, 509ş
menten, 641
mer izomerliği, 1079
merkez atomu, 408, 409
merkez noktalar,92
mermer, 164
meta-kloranilin, 732
meta-yönlendirici gruplar, 1246–1247
meta, 1181
metabolizma, 176, 1286–1292
  enerji ilişkileri, 1287–1288
  enzimler, 1288–1290
  karbonhidrat metabolizması, 1287
  lipid metabolizması, 1287
  özet, 1286ş
  protein metabolizması, 1287
metal atomları, 72
metal hidrürler, 1019
metal karboniller, 1054
metal sülfürler, 808, 809
metal tuzları, 156
metal yarıçapı, 368, 368ş
metalik bağlar, 72, 383, 406
metalik hidrürler, 1019
metaller arası bileşikler, 72, 558*n*
metaller, 52
  alaşımlar, 558, 558*n*
  alkali metaller. *bakınız* alkali metaller; grup 1 elementleri
  asitlere karşı davranışları, 877–878
  band kuramı, 481–482, 481ş, 482ş
  baş grup metal iyonları, 365
  elektron denizi modeli, 480–481, 481ş
  geçiş metal iyonları, 366
  iyonların elektron dizilişleri, 366ç
  izole edilmiş metal iyonları, 1100–1101
  kompleks iyonlarda, 1075ç
  korozyon, 894–895
  kurban anot, 895
  metal sulfürler, 808, 809
  metalik bağlar, 383
  metallerde bağlanma, 480–484
  özellikleri, 52
  ve iyonları, 364–367
  yarı iletkenler, 482–484
  yükseltgen olmayan asitler, 169ç
metalurji
  bakır, 1042–1043
  çelik, 1044–1046
  demir, 1044–1045
  hidrometalurji, 1043
  metalurji süreçlerinin kimyasal eşitlikleri, 1039
  pirometalurji, 1043
  tanımı1037
  üretim metalurjisi, 1037–1044
metan, 94, 278, 453, 453ş, 686, 832ş, 1018, 1148, 1151, 1155
  çizgi-kamalı gösterimi, 1148, 1148ş
  dörtyüzlü yapı, 422
  halojenleme, 1249*t*
  hidrojen atomları, 163
  klorlama, 989, 1248
  metan molekülünün gösterimi, 1148ş
metanoik asit, 97
metanol, 96, 116, 153, 279, 663, 853, 1020, 1182, 1226, 1227ş, 1278
meti etanoat, 1188
metil alkol, 96, 1020
metil grubu, 95, 1166
metil izosiyanat, 429
metil kırmızısı, 160, 161ş
metil klorür, 830ş
metil merkaptan, 224
metil radikali, 418, 437
metil *tert*-bütil eter, 1184
metilen grubu, 1155
metilen klorür, 523
metilhidrazin, 1009
metilpropan, 70, 71ş, 94, 95, 1149, 1249
metre (m), 8
metreküp (m^3), 12, 13
Meyer, Lothar, 361
mısır yağı, 1270
mısırdan elde edilen etanol, 279
Michaelis, 641
mikrobilgisayar teknolojisi, 365
mikrodalga fırınlar, 349
mikrohal, 822
mikroskopik tanım, 824
milibar, 197
mililitre (mL), 12
milimetre civa (mmHg), 194
milimol, 762
Millikan, Robert, 40, 41ş
milyarda bir (ppb), 559
milyonda bir (ppm), 559
minimum enerji yolu (MEP), 625
mmol, 762
moderatör, 1131-1132
Mohr titrasyonu, 817
Moissan, H., 986, 988
mol başına bastırılamayan hacim, 227
mol kesri, 214, 559, 561–562
mol kütlesi (*m*), 55, 57–58, 73, 74, 75, 78, 93
  çevirme faktörü olarak, 74ç
  donma noktası alçalması, 582–583
  efüzyon süreleri, 225
  kaynama noktası yükselmesi, 582–583
  osmotik basınçtan, 579–580
  tayini, 208–209
mol yüzdesi, 559
mol
  bir bileşiğin, 73–75
  bir elementin bir molü, 55ş
  bir elementin, 75–76
  kavramı, 54–56
  kullanımı, hesaplamalarda, 56–58
  mol başına bastırılamayan hacim, 227
  tanımı, 54
  tepken ve ürün mol sayısı, 117
  ve kimyasal bileşikler, 73–76
molal birimler, 559
molalite, 560–561
molar (*M*), 123
molar buharlaşma entalpisi, 263
molar çözünürlük, 786–788
  bakınız çözünürlük
molar hacim, 202, 203ş, 203ç
molar ısı kapasitesi, 244
molar yoğunluk, 667
molarite, 123–125, 559, 561–562
  bakınız derişim
  hacim, 124
  hesaplaması, 124, 125
  simge, 123
  tepken çözeltisinin molar derişimi ve ürün hacminin kütlesi, 128
  titrasyon için kullanılan çözelti, 762
molekül ağırlığı, 73
molekül biçimleri, 421–432, 421ş
  birden fazla merkez atomlu moleküller, 429–430
  çizgi-kama gösterimi, 422–423
  çok atomlu moleküller, 421
  çoklu kovalent bağlar, 428–429
  değerlik bağ yöntemi, 460
  değerlik kabuğu elektron çifti itmesi (VSEPR), 421–428
  dörtyüzlü elektron grup geometrisi, 424ş
  dörtyüzlü molekül, 422
  elektron grup dağılımları, olasılıkları, 423–428
  iki atomlu moleküller, 421
  melezleşme şeması, 459–460
  üç atomlu molekül, 421
  üçgen piramit, 423
  ve dağılma kuvvetleri, 500
  ve dipol momentler, 430–431, 432ş
  ve Lewis kuramı, 399
  ve polarlanabilme, 500ş
molekül bileşikler, 69–71, 153
molekül büyüklüğünün etkisi, 227ş
molekül çarpışmaları, frekansı, 217, 622–623, 624ş
molekül formülü, 69, 75–76, 80–81
molekül geometrisi, 423, 425–426ç, 505
molekül hareketleri, 217ş
molekül hızları, dağılımı, 218–221, 218ş, 219ş, 221, 221ş
molekül hızlarının dağılımı, 218–221, 218ş, 219ş, 221, 221ş
molekül içi dönme bariyeri, 1156
molekül içi hidrojen bağı, 504–505
molekül kovalent bileşikler, 977
molekül kütlesi, 73, 76
molekül modelleri
  renk şeması, 71
  yapılışı, 1166
molekül orbital diyagramı, 471–472, 471ş, 473ş, 476ş
molekül orbital kuramı, 465–474
  birinci periyot elementlerinin iki atomlu molekülleri, 467, 467ş, 470ş, 471, 471ş
  dioksijen, 472
  eş çekirdekli olmayan iki atomlu molekjül, 473–474
  ikinci periyot elementlerinin molekül orbitalleri, 468–472
  molekül orbital diyagramı, 471–472, 471ş
  molekül orbitalleri ile ilgili temel görüşler, 466–467
molekül orbitalleri
  2s orbitalleri, 470
  bağ yapmayan molekül orbitali, 473, 477

bağlayıcı molekül orbitalleri, 465ş
delokalize molekül orbitalleri, 476–480
en düşük enerjili boş molekül orbitali (LUMO), 479–480
en yüksek enerjili dolu molekül orbitali (HOMO), 473, 479–480
ikinci periyot elementlerinin, 468–472
karşıt bağlayıcı molekül orbitalleri, 466
molekül orbital kuramı. *Bakınız* molekül orbital kuramı
nitrat, 478–479
π-tipi molekül orbitalleri, 469, 478–479, 480ş
temel görüşler, 466–467
molekül yapısı, 407–408
değerlik bağ yöntemi, 452
doymamışlık derecesi, 1192
organik bileşikler, 1192–1195
simetrik yapı, 409
ve asit baz davranışı, 727–732
moleküller arası hidrojen bağı, 504–505
moleküller arası kuvvetler, 227, 227ş, 383, 499–507
anlık dipoller, 499–500, 499ş
çözelti türünün tahmini, 565
çözeltiler, 562–569, 563ş
dağılma kuvveti, 499
diğer çeşitleri, 506
dipol-dipol etkileşimleri, 500, 501ş
hidrojen bağı, 501–505, 503ş
indüklenmiş dipoller, 499–500, 499ş
karbon disülfür ve aseton karışımı, 566
karışımlar, 563–565
kovalent olmayan etkileşimler, 507ç
London kuvveti, 499
polarlanabilirlik, 499–500
sıvıda, 508, 508ş
van der Waals kuvvetleri, 499, 506
ve fiziksel özellikleri, 519
ve ideal olmayan çözelti, 564ş
ve seçilmiş bileşiklerin özellikleri, 506ç
moleküller, 73
biçim. *bakınız* molekül biçimi yapısı
çok atomlu moleküller, 421
difüzyon, 223, 223ş, 224–226
dörtyüzlü molekül, 422
düzlemsel moleküller, 1180
globinin, 5
halkalı moleküller, 1180
hidrojenin, 5
hipervalent moleküller, 485
iki atomlu moleküller, 421, 467, 467ş, 831, 985
iskeleti, 1273
iyonlaşma kesri, hesaplanması, 161
kinetik enerjiler, 623, 623ş
polar molekül, 430
sınırlı molekül büyüklüğü, 227ş
suyun, 5
tanım, 5
tarif, 69
üç atom molekül, 421, 831
yapı. *bakınız* molekül yapısı
yönlendirme, ve tepkime hızı, 623
moleküllerin ayrışması, 1135
moleküllerin iyonlaşması, 1135
moleküllerin uyarılması, 1135
moment aktarımı, 217
moment, 308
Moncada, Salvador, 1011
Mond işlemi, 1054
Mono Lake, 974
mono- öneki, 89
monoklinik kükürt, 999
monoklormetan, 437
monomer, 1250
monosakkaritler, 1271, 1275–1276
morfin, 1150, 1190ş
Moseley, Henry g.j., 363, 363ş
Murrah federal binası, 1009
Muskovit Mika, 958–959
mutlak entropi değerleri, 830-831
mutlak eşel, 200
mutlak hata, 20
mutlak konfigürasyon, 1272-1273
mutlak sıfır sıcaklığı, 200, 200*n*, 222, 223
mükemmel gaz, 204
mürekkep, 7ş

N

n-tipi yarı iletkenler, 483, 483ş
nadir toprak elementleri, 1059
naftalin, 591, 1179
Nagasaki atom bombası, 1136
nanometre (nm), 368
nanoteknoloji, 529
nanotüpler, 528, 528ş, 953
narenciye yetiştiricileri, 583–584
narenciye, 697ş
NASA, 12–13
Natta, Giulio, 1254
Naylon-66, 902
nefes analizörü, 190
negatif elektron ilgisi, 384
negatif elektrostatik potansiyel, 402
negatif iş, 253
negatif potansiyel, 304
negatif yük, 38
nem dedektörü, 93
neon, 44, 45, 979
Nernst eşitliği, 880–881, 884
Nernst potansiyeli, 915
Nernst, Walther, 880, 880ş
nesnelerin ölçeği, 14
net eşitlik, 137–138
net iyonik eşitlikler, 157, 164
net manyetik alan, 334
net tepkime, 137–138
net yük, yönü, 670–672, 672ş
net yükler, 45
Newman izdüşümü, 1156, 1158, 1166
Newman, Kelvin s., 1156
Newton (N), 193
Newton, Isaac, 2
nicel bilim, 8–13
nicel ölçüm, 13
Nicolau, Kyriacos, 1208ş
nikad pili, 890–891
nikel kadminyum hücresi, 890–891
nikel, 1052, 1054
nikotin, 583
nirozil klorür, 413
nişasta, 1277, 1287
nitel analiz, 1099
nitel bilgi, 8–13
nitel katyon analizi, 805–809
ana hatları, 805ş
hidrojen sülfür (grup 2 ve 3 katyonları), 807–808
klorür grubu (grup 1katyonları),806–807
metal sülfürler, 808, 809
tanımı, 805
nitöz oksit, 278
nitrat, 477–479, 878
nitratlar, 1012
nitrik asit, 35, 136, 160, 212, 831, 1012
bakır, ile tepkimesi, 112ş
stronsiyum hidroksit, ile tepkimesi, 165
üretimi, 113
yaygın üretimi, 175
nitrik oksit, 1010–1011
nitril florür, 439–440
nitrolama, 1245
nitronyum, 411–412
nitröz asit, 1010
nitrürler, 1007
nobelyum, 51
Nodack, Ida Tacke, 1130
nokta kusurları, 555
nokta kütleler, 216
nona- öneki, 89
normal kaynama noktası, 517
Novosalov, Kostya, 954
nötral parçacıklar, 43
nötral moleküller, 1075
nötralleşme entalpisi, 273–274
nötralleşme tepkimeleri, 756, 762–770
nötralleşme
entalpisi , 273–274
kuvvetli asidin, 251
nötrino, 1112, 1113*n*
nötron aktivasyon analizleri, 1138
nötron sayısı, 44
nötron/proton oranı, 1129ş
nötronlar, 1129
keşfi, 43
kütlesi, 44
özellikleri, 44
sayısı, atomlarda ve iyonlarda, 46
nükleer atom, 34ş, 42–44, 43ş
nükleer atomla Rutherford model 42–44, 307, 308
nükleer manyetik rezonans (NMR), 980
nükleer reaktörler, 923, 1131–1133
nükleer tıp, 1137ş
nükleik asitler, 1292–1295
baz çifti kuralları, 1293
bileşenleri, 1292ş
DNA (deoksiribonükleik asit), 1292–1295
nükleik asit zinciri, 1293ş
RNA (ribonükleik asit), 1292–1295
nükleofil, 1211, 1212, 1213, 1214–1215, 1223ş, 1223ç
nükleofilik yerdeğiştirme tepkimeleri , 1211–1225
nükleofillik, etkileyen faktörler, 1221–1223
özet, 1230–1232, 1231ş
*SN*1 ve *SN*2 mekanizmaları, 1212–1219
*SN*1 ve *SN*2 tepkimelerine çözücü etkileri, 1219–1220, 1220ş
tarif, 1211
nükleofillik, 1213, 1220ş, 1221–1223
nükleon başına bağlanma enerjisi, 1127–1128, 1128ş
nükleonlar, 1126
Nyholm, Ronald, 458

O

o-ksilen, 1179
odun alkolü, 96
oksanyonlar, 90, 91, 990–993
oksiasitler, 91–92, 92*t*, 729, 990–993, 991ç

oksijen ailesi, 994–1004
  bakınız grup 16 elementleri
oksijen bileşikleri, 999–1000
oksijen fırını, 1044
oksijen-16, 47
oksijen, 1ş
  amonyak, ile tepkimesi, 114
  ayrımsal damıtma, 996ş
  bileşikleri, 999–1000
  dioksijen, 416, 472
  halojenler, 1003
  karşılaştırma. kükürt, 994–995, 995ç
  keşfi, 35
  kimyasal simgesi, 44
  kullanımı, 995
  kütle, 38
  normal suda, 4
  oksijenin allotropları, 998–999
  oksijenin taşınması, 176
  oluşumu, 995
  paramanyetizma, 401, 401ş, 418
  radyoaktif olmayan izotop, 1117
  süper iletkenler, 1060
  temel oksijen işlemleri, 1045
  trioksijen, 416
  üretimi, 995
  ve fullerenler, 953
  ve hava, 6
oksitler
  alkali metaller, 926–928
  aluminyum, 949
  amfoterik oksit, 385, 385ş
  amfoterik, 385, 934, 946, 949
  asidik oksitler, 385, 385ş
  azot, 1009–1012, 1009*t*, 1010ç
  bazik oksitler, 385, 385ş, 946
  bor, 1000
  çökelme, 901
  fosfor, 1015
  grup 14 metalleri, 966
  ikili oksitler, 978*t*
  kükürt oksitleri, 1001, 1001ş
  silisyum, 958–960
  tanım, 38
  toprak alkali metaller, 937–938
oksonyum iyonu, 154
okta- öneki, 89
oktahedral boşluklar, 531, 538ş
oktet, 396, 418–421, 428
olasılık dağılımı, 337
olasılık yoğunlukları, 324, 327, 328, 328ş, 331ş
olasılık, 3
olefinler, 1175
oligosakkaritler, 1271
oluşum entalpisi, 544
oluşum sabiti (K_{ol}), 800, 801ç
-on soneki, 1184–1185
optik izomerler, 1082, 1272
optik izomerlik, 1080–1082, 1108, 1272, 1272ş
optikçe aktiflik, 1080, 1081ş
oral rehidrasyon terapisi (OR),600
oran, 245*n*
orantı işareti, 199
orantısız tepkimeler, 174
orbital dalga fonksiyonları, 336
orbital diyagramı, 339ş, 340, 343, 377ş
orbital örtüşmesi, 451, 451ş, 461
orbitaller, 324–326
  2*s* orbitalleri, 470
  açısal ve radyal dalga fonksiyonları, 327ç
  ana ve alt kabuklar, 325–326
  atom orbitali örtüşmesi, 451, 451ş, 461
  atom orbitallerinin melezleşmesi, 453–460
  bağ yapmayan molekül orbitali, 473
  bağlayıcı molekül orbitalleri, 465ş
  biçim ve yönlenme, 325
  d orbitalleri, 330–333, 332ş
  dart tahtası benzetmesi, 337ş
  delokalize molekül orbitalleri, 476–480
  en düşük enerjili boş molekül orbitali (LUMO), 479–480
  en yüksek enerjili dolu orbital (HOMO), 473, 479–480
  enerji seviyesi diyagramı, 338ş
  enerjiler, 326
  hidrojen atomunun, 326, 327–333
  hidrojene benzeyen orbitaller, 336
  ikinci periyot elementlerinin molekül orbitalleri, 468–472
  karşıt bağlayıcı molekül orbitalleri, 466
  matematik fonksiyonları olarak, 335
  melez atom orbitali, 457
  melez orbitaller, 453
  melezleşmemiş *p* orbitalleri, 455
  molekül orbital kuramı, 465–474
  molekül orbitalleri, temel fikirleri, 466–467
  orbital dalga fonksiyonları, 336
  orbital diyagramı, 343
  orbital gösterimleri ve kuantum sayıları, 326
  orbitallere elektronların diziliş kuralları, 339
  p orbitallleri, 329–330, 330ş, 331ş, 468, 469ş
  π-tipi molekül orbitalleri, 469, 478–479, 480ş
  s orbitalleri, 328–329, 329ş
  sp melez orbitalleri, 456
  sp^2 melez orbitalleri, 455–456, 455ş
  sp^3 melez orbitalleri, 453, 454ş, 455
  sp^3d melez orbitalleri, 457, 458ş
  sp^3d^2 melez orbitalleri, 457, 458ş
  temel hal atom orbital diyagramları, 343
  uyarılmış hal atom orbital diyagramları, 343
organik asitler, 729–731
organik bileşikler, 86–87
  ad ve formülleri, 94–100
  adlandırma, 1149–1151
  aldehitler, 1184–1186
  alkanlar, 1155–1161
  alkenler, 1175–1179
  alkinler, 1175–1179
  alkoller, 1181–1183
  aminler, 1190–1191
  amitler, 1189–1190
  aromatik hidrokarbonlar, 1179–1181
  azot atomları, 1194
  doymamışlık derecesi, 1192, 1194–1195
  doymuş hidrokarbonlar, 1151
  eldeleri, 1254–1256
  esterler, 1188
  eterler, 1183–1184
  fenoller, 1181–1183
  genel bakış, 1148–1155
  heterosiklik bileşikler, 1191–1192
  hidrojen atomları, 94
  hidrokarbonlar, 94–96, 95ş, 1148
  işlevsel gruplar, 96–98, 1152–1155,1154*t*, 1181–1192
  işlevsel grupların varlığı, 1181–1192
  karboksilli asitler, 1186–1188
  karbon atomları, 94
  ketonlar, 1184–1186
  molekül yapısı, 1192–1195
  sikloalkanlar, 1161–1168
  sınıflandırması, 1154*t*
  stereoizomerlik, 1168–1175
  tarif, 70
  tepkimeleri. *bakınız* organik tepkimeler
  türlerinin tanınması, 98–99
  yapı, 1148–1155
  yapısal formüller, 100, 1149
  yapısal izomerlik, 1148–1150
organik bileşiklerin sentezi, 1254–1256, 1264
organik kimya, 87
organik tepkimeler
  alkanlar, 1248–1250
  alkoller, 1234–1239, 1235ç
  ayrılma tepkimesi, 1209, 1225–1234
  çevrilme tepkimesi, 1210
  düzenlenme enerjisi,834
  elektrofilik aromatik yerdeğiştirme, 1244–1247
  giriş, 1209–1211
  katılma tepkimesi, 1209, 1239–1243
  nükleofilik yerdeğiştirme tepkimeleri, 1211–1225
  organik bileşiklerin sentezi, 1254–1256
  organik tepkime türleri, 1209–1211
  polimerler ve polimerleşme tepkimeleri, 1250–1254
  retrosentez, 1256
  yerdeğiştirme tepkimesi, 1209
organosilanlar, 962
ortak iyon derişimi, 790
ortak iyon etkisi, 746–749
  çözünürlük dengelerinde, 788–790, 789ş
  zayıf asit ve tuzları, 748–749
  zayıf asit-kuvvetli asit karışımları, 746–748
  zayıf baz ve tuzları, 749
ortak iyon, 746, 788
ortalama bağ enerjisi, 435, 435*t*
ortalama değer, 217
ortalama tepkime hızı, 606, 607
orto izomer, 1246
orto, 1181
orto, para-yönlendirici gruplar, 1246–1247
ortofosfatlar, 1017
ortofosforik asit, 1016
ortosilisik asit, 959
osilasyon yapan manyetik kuvvet, 299
osmiyum, 14
osmotik basınç, 577–581, 1297
osmoz, 578, 578ş
Ostwald işlemi, 1012
otomobil hava yastığı emniyet sistemi, 136,
otomobil motoru, 113
ozon, 76, 176, 278, 307, 416, 998–999
  elektrostatik potansiyel haritası, 416ş
  yapı, 476–477, 476ş, 477ş

ö

örgü enerjisi, 529, 542–544, 927, 936–937
örgü, 530–531
öteleme enerjileri, 831
öteleme kinetik enerjisi, 255
ötrifikasyon, 1017
öz uygun alan yöntemi (SCF), 370
özellikler, 381*t*, 985–986, 985ç

özellikler
alkali metaller, 921–923
atom özellikleri, 381–385, 381ş, 918
çözeltiler. *bakınız* çözeltiler
fiziksel özellik, 4
gazların, 193–198
geçiş elementleri, 1032–1037, 1032ç
grup 1 elementleri, 921–923
grup 11 elementleri, 1055ç
grup 12 elementleri, 1056ç
grup 13 elementleri, 945–946, 945ç
grup 15 elementleri, 1005–1006, 1005ç
grup 16 elementleri, 994–995
grup 17 elementleri, 985–986, 985ç
grup 2 elementleri, 933–934, 934*t*
halojenler, 985–986, 985ç
kapasite özelliği, 13,14
katılar, 520–521
kimyasal özellikler, 5
koligatif özellikler, 579, 586
koligatif özellikler, anormal, 584–586
maddenin, 4–5
oksijen ailesi, 994–995
periyodik özellikler, 381–386
şiddet özelliği, 13
sıvılar, 508–520
soy gazlar, 980
tanımı, 4
toprak alkali metaller, 933–934, 934ç
özgül ısı kapasitesi, 245
özgül ısı, 245, 245*n*, 246–247, 246ş, 247*t*

P

p orbitalleri, 329–330, 330ş, 331ş, 468, 469ş
p-blok elementleri, 344, 345, 365, 385ş, 918
p-değerlik elektronları, 370
π-tipi molekül orbitalleri, 469
p-tipi yarı iletkenler, 483, 483ş
paklitaksel, 1208ş
para izomer, 1246
para metalleri,1055
para-hidroksibenzoik asit, 505, 773–775, 1181
paradigma değişimi,3
paralel spinler, 340
paralelyüz, 530, 530ş
paramanyetik, 379, 1088
paramanyetizma, 379–380, 401, 401ş, 418, 1036ş, 1088ş
Pascal, Blaise, 193
Pasifik porsuk ağacı, 1208ş
paskal (Pa), 193
paskal, 12
paslanmaz çelik, 1045
Pasquini, T.A., 222*n*
Pasteur, Louis, 3ş
pauli dışlama ilkesi, 339
Pauli, Wolfgang, 339
Pauling, Linus, 405, 981, 1282
Pedersen, Charles, J., 930
penisilin, 3
penta- öneki, 89
pentaboran, 942ş
pentaeritritol kloral, 81
pentilaminler, 1191
peptit bağı, 1189, 1280
peptitler, 1280–1281
peralik asit, 985
perdeleme, 336–338, 368–371, 369ş
periyodik çizelge 51–54, 51ş
aileler, 52
ametaller, 52
atom numarası (Z), 52
atom yarıçapları, değişimi, 370–371
bağlanmada periyodik eğilimler, 977–979
baş grup elementleri, 53–54, 364, 376, 378ş
birinci sıra geçiş metal elementleri, 1046–1052
d-blok elementleri, 344, 346, 1033ş
demir üçlüsü elementleri, 1052–1054
dikey gruplar, 52
elektronegatiflik (EN), 405ş
f-blok elementleri, 344, 346
fiziksel özellikler, tahmini, 382
geçiş elementleri, 54, 364, 371, 376
giriş, 51–54
grup 1 elementleri, 52, 344, 344ç, 920–933
grup 11 elementleri, 1054–1056
grup 12 elementleri, 1056–1058
grup 13 elementleri, 346, 941–950
grup 14 elementleri, 951–967
grup 15 elementleri, 1004–1017
grup 16 elementleri, 994–1004
grup 17 elementleri, 52, 344ç, 985–994
grup 18 elementleri, 344ç
grup 2 elementleri, 345, 933–941
gruplar, 52
hidrojen, 1017–1021
ikili asitler, kuvveti, 728
ikinci ve üçüncü sıra elementlerinin ikili oksitleri, 978ç
lantanitler, 52–53, 1059
Mendeleev'in periyodik çizelgesi, 361–362
metalimsiler, 52
metaller, 52
modern periyodik çizelge, uzun şekli, 363–364
özellikleri, 52–53
p-blok elementleri, 344, 345, 365, 385ş, 918
periyodik eğilimler, 918–920, 919ş
periyodik yasa, 361–364
periyotlar, 52
renk şeması, 365
s-blok elementleri, 344, 385ş
soy gazlar, 52
tanımı, 5
üçüncü periyot elementlerinin erime noktaları, 383
ve atom büyüklüğü, 372
ve atom özellikleri, 381ş
ve elektron dizilişi, 344–348, 345ş
ve kuantum kuramı, 344–348
yararlı ilişkiler, 53–54
yatay sıralar, 52–53
yük yoğunluğu, 918–920
periyodik eğilimler, 918–920, 919ş
bağlanmada, 977–979
periyodik özellikler, 381–386
periyodik yasa, 361–364
atom numarası temel alınarak, 363
gösterimi, 361ş
periyotlar, 52
perklorat tuzları, 993
permanganat iyonu, 173, 176
peroksiasetil nitrat (PAN), 635, 643–645
peroksinitrit anyonu, 1011
peroksitler, 928
perokso bağlanma, 409
peroksodisülfat tuzları, 878
Petit, Alexis, 291
petro-dizel bileşik, 280
petrol fraksiyonları, 1160, 1160ç
petrol, 275, 1160–1161
Pettersson, M., 981*n*
Peyrone, Michel, 1097
pH değerleri, 705ş
pH elektrot, 886ş, 887–888
pH eşeli, 703–706, 705ş
pH test kağıdı, 760, 760*t*
pH, 704–706
asit-baz indikatörleri, 759–762, 760ç, 761ş
çok protonlu asidin anyonunu içeren çözelti, 770
değişimler, tampon çözeltilerde, 756–758, 757ş
elektrokimyasal ölçümleri, 887–888
hidroliz olan çözeltinin, 726–727
kuvvetli bir bazın sulu çözeltisinin, 707–708
laboratuar pH metreleri, 708
pH nın kontrolü, 759
saf su, 724
tampon çözeltinin, 751–753
tanımı, 844
tuz çözeltileri, 725
ve çözünürlük, 797–799
zayıf asit çözeltisinin, 712–713
zayıf bir asidin seyreltik çözeltisi, 714–715
pi (π) bağı, 461ş, 462, 462ş, 463
pik demir, 1044–1045
pikokelvin, 222
pikometre (pm), 368
pileli tabaka modeli, 1284, 1284ş
piller, 888–894
akış pili, 888, 906
alkali hücre, 888–889
birincil hücreler, 888, 891
el feneri pili, 888–889
gümüş-çinko hücresi, 890, 890ş
hava pilleri, 893, 893ş, 906
ikincil hücreler, 888, 889
kurşun-asit (depolama) pili, 889–890
Leclanché (kuru) pili, 888–889
lityum iyon pili, 891–892, 892ş
lityum iyon polimer pilleri, 892
nikad pili, 890–891
nikel kadmiyum hücresi, 890–891
saat pili, 890, 890ş
şarj edilebilen piller, 888, 890–891
yakıt hücreleri,888, 892–893, 906
piperidin, 714
piridin, 711ş, 1191, 1191ş
pirinç, 1057
piroanyonlar, 1028
pirofosforik asit, 1016
piroliz, 279
pirolusit, 902, 1050
pirometalurji, 1043
p*K*, 709
Planck eşitliği, 302, 307, 1092
Planck sabiti, 302, 304
Planck, Max, 302–303, 303ş
plastik kükürt, 999
plazma boşluğu, 1134ş
plazma, 1133
plutonyum, 1133
pOH, 704–706
polar aprotik çözücüler, 1220, 1220ş, 1222
polar kovalent bağlar, 402–408
polar madde, 500, 502
polar molekül, 430, 430ş

polar protik çözücüler, 1220, 1222
polarimetre, 1272
polarlanabilme, 499–500, 500ş, 919, 919ş, 1223ş
poliamit, 1190
polietilen, 1250
polifosfatlar, 1016
polihalojenür iyonlar, 994
polimerler, 1176, 1250–1254
  ataktik polimer, 1253, 1254ş
  çapraz bağlantılar, 1251
  genel bakış, 1250–1251
  izotaktik polimer, 1253–1254
  sindiyotaktik polimer, 1254, 1254ş
  stereospesifik polimerler, 1253–1254
polimerleşme tepkimeleri, 1250–1254
  basamaklı polimerleşmesi, 1252–1253, 1253ç
  genel bakış, 1250–1251
  kondensasyon polimerleşmesi, 1252–1253, 1253ç
  zincir-tepkime polimerleşmesi, 1251–1252, 1252ç
polimorfizm, 524
polioller, 1182
polipeptit, 1281, 1283
poliposforik asitler, 1016, 1016ş
polipropilen zinciri, 1254
polisakkaritler, 1271, 1277, 1278ş
politetrafloretilen, 988
polivinil klorür(PVC), 1177
porfin, 1101
porfirinler, 1101
Portland çimentosu, 938
potansiyel enerji yüzeyi (PES), 625–626
potansiyel enerji, 243, 243ş, 450, 1157ş, 1158ş
potansiyel farkı, 304
potas, 929, 950
potasyum hidroksit, 928
potasyum karbonat, 929
potasyum klorür, 925
potasyum kromat, 35, 35ş, 112ş
potasyum nitrat, 569ş
potasyum permanganat, 1051
potasyum siyanür, 801
potasyum superoksit, 928, 995
potasyum, 920
  fiziksel özellikler, 51
  grup 1 elementi, 52
  kimyasal simgesi, 44
  metal, 922
  su, ile tepkimesi, 241ş, 383–384, 384ş
  varlığı için testler, 806
Powell, Herbert Marcus, 458
poz süresi, 1099
pozitif boşluk, 483
pozitif elektron, 1113
pozitif iş, 253
pozitif yük, 38
pozitron yayınlama, 1113
pozitron, 1113
ppb (milyarda bir), 559
ppm (milyonda bir), 559
ppt (trilyonda bir), 559
Prelog, V., 1171
Pritchard, D.E., 222*n*
propan, 94, 97, 832ş, 1151
propen, 267
propilen, 208
protein çalışmaları, 759
protein metabolizması, 1287
proteinin dördüncül yapısı, 1285
proteinin ikincil yapısı, 1282, 1283ş
proteinler, 1279–1285
  alfa α-amino asit, 1279
  amino asit sırası, 1281–1282, 1283
  amino asitler, 1279, 1279*t*, 1280
  birincil yapı, 1282
  dördüncül yapı, 1285
  hidrojen bağı, 505
  ikincil yapı, 1282, 1283ş
  büyük polipeptitler karşılaştırma, 1281
  metabolizma, 1287
  peptitler, 1280–1281
  pileli tabaka modeli, 1284, 1284ş
  polipeptit, 1283
  tanımı, 1279
  üçüncül yapı, 1284, 1284ş
  yapısı, 1282–1285, 1285ş
proteinlerin birincil yapısı, 1282
protik çözeltiler, 1220
proton alıcı, 162, 698
proton sayısı (*Z*), 44
proton verici, 161, 698
protonlanmış, 782
protonlar
  atom iyon olduğunda, 45
  atom numarası, 44
  keşfi, 43
  kütle, 44
  özellikleri, 44
  sayısı, atom ve iyonlarda, 46
Proust, Joseph, 36, 36*n*, 92
Prusya mavisi, 1053, 1070
pul pul dökülme, 954
Pulong, Pierre, 291
Piroteknik görüntüler, 921

R

R, S sistem, 1171–1175
rad, 1136
radikaller, 418
radon, 365, 979, 1137, 1145
radyal dalga fonksiyonu, 324, 327ç
radyal olasılık dağılımı, 337, 337ş, 368, 369ş
radyo dalgaları, 295
radyoaktif bozunma için integrali alınmış hız yasası, 1122–1123
radyoaktif bozunma serileri, 1116, 1116ş
radyoaktif bozunma yasası, 1119, 1120–1121
radyoaktif bozunma, 42, 1115
  birinci dereceden tepkime, 1119–1120
  Dünyanın yaşı, 1123–1124
  modern radyoaktif yaş tarihlendirme, 1124–1125
  radyoaktif bozunma hızı, 1119–1125
  radyoaktif bozunma yasası, 1119, 1120–1121
  radyoaktif bozunmada integrali alınmış hız yasası, 1122–1123
  radyokarbonla yaş tarihlendirmesi, 1122–1123
  yarı ömür, 1119–1120, 1120ç
radyoaktif izleyiciler,1137–1138
radyoaktif olmayan izotop, 1117
radyoaktiflik, 3, 41–42, 1112–1115
  alfa (α) parçacıkları, 1112
  ayrıca bakınız çekirdek kimyası
  beta (β^-) parçacıkları, 1112–1113
  çekirdek eşitliği, 1112, 1115
  çekirdekler, 1130
  elektron yakalama (EC), 1113
  gama (γ) ışınları, 1113, 1113ş
  pozitron, 1113
  radyoaktif bozunma serileri, 1116, 1116ş
  radyoaktif bozunma yasası, 1119, 1120–1121
  yapay radyoaktiflik, 1117–1118
radyoizotoplar, uygulamaları, 1137–1139
radyokarbon yaş tayini, 48, 1111
radyum, 933
Raman laser spektroskopi yöntemi, 624
Ramsay, William, 363, 979, 979ş
Randall, M., 659*n*
Raoult yasası, 573, 829, 830ş
Raoult, F.M., 573
Rasanen, M., 981*n*
rasemik karışım, 1082, 1274
rastgele hatalar, 18
Rayleigh, John, 239, 979
reaktif olmayan gazlar, 212
reaktifler, 129
redoks eşitlikleri, 170–175
  ayrıca bakınız yükseltgenme-indirgenme eşitlikleri
redoks tepkimesi, 166, 864, 867–868
  ayrıca bakınız yükseltgenme-indirgenme tepkimeleri
redoks titrasyonları, 180–181, 180ş
refraktör malzeme, 949
rem, 1136
renk
  birincil renkler, 1090–1091
  dışlayıcı karışım, 1090, 1091, 1091ş
  dört renkli baskı, 1091ş
  fiziksel özellik olarak, 4
  ikincil renkler, 1090–1091
  katılımcı karışım, 1090, 1091ş
  komplekslerin, 1090–1093
  koordinasyon bileşikler, 1092ş, 1092*t*
  molekül modelleri için renk şeması, 71
  renkli çözeltiler, 1092
  spektrokimyasal seriler, 1093
  tamamlayıcı renk, 1090–1091
renkli çözeltiler, 1092
Renyum-187, 58
renyum, 1130
retrosentez, 1256
rezonans enerjisi, 495
rezonans Lewis yapılar, 731ş
rezonans melezi, 416, 417
rezonans yapılar, 484
rezonans, 416–417, 729
ribonükleik asit (RNA), 1292
riboz, 1017
RNA (ribonükleik asit), 1292–1295
Robinson, Robert, 1213ş
Roentgen, Wilhelm, 41
rombik kükürt, 999
Rosenberg, Barrett, 1097
rubidyum, 301
rubidyum, 52
RuBisCo, 1285
Ruff bozulması 1302
Runenburg, N., 981*n*
Rutherford, Ernest, 41, 42, 43ş, 1117
rüzgar gücü, 280

S

s orbitalleri, 328–329, 329ş
s-blok elementleri, 344, 385ş
s-değerlik elektronları, 370
saat pili, 890, 890ş
Saba, M., 222*n*
sabit basınç, 260, 261ş, 676

sabit hacim, 259, 261ş
sabit oranlar yasası, 36–37, 92
sabit sıcaklık, 248, 248ş
sabit, 1120
sabun köpüğü, 1182ş
sabunlar, 932, 933ş, 1269
sabunlaşma tepkimeleri, 1301
sabunlaşma, 1268
sabunun kirli köpüğü, 960
saf su
  elektrik, 586
  pH nötralliği, 724
  tamponlama gücü, 750ş
saflaştırma yöntemi, 569*n*
saflaştırma, 1043
safsızlıklar, 569*n*
salisilik asit, 505, 1188
sanayi hava kirliliği, 635, 1003–1004
saniye (s), 10
santimetreküp (cm^3), 12
sarı, 1090, 1091
sarkıtlar, 939
sarmal, 1282
Sasol süreci ile kömür sıvılaştırması, 279
sayısal sonuçları yuvarlama, 21, 81
Schirotzek, A., 222*n*
Schottky, W., 555
Schönbein, Christian F., 998
Schrödinger eşitliği, 323–324, 326, 327,370, 402, 453
Schrödinger, Erwin, 318
Schumacher-Levy kuyruklu yıldızı, 302
sefalinler, 1271
sekiz kuralı, 485
selen, 997
sellobiyoz, 1276
selüloz, 1277
sentez gazı, 282, 956
sentez tepkimeleri, 116
sekuola ağacı, 505ş
sera etkisi, 277ş
sera gazları, 276, 278
seramik sanayi, 961–962
seramik süper iletkenler, 1061
serbest enerji. *bakınız Gibbs* enerjisi
serbest radikaller, 418, 1248
ses dalgaları, 295, 296
setan, 280
seyreltik çözelti, 126, 558, 579, 582
seyreltik sülfürik asit, 1001
seyreltik tamponlar, 758
sezyum klorür, 539–540, 540ş
sezyum oksit, 926
sezyum, 52, 301, 544, 920
Shin, Y., 222*n*
sıcaklık eşelleri 11ş
sıcaklık, 10–11
  Celsius, 10–12, 200
  Charles yasası, 199–201, 204, 222
  çözünürlük eğrisi, 568
  çözünürlük, 569
  denge sabiti, 848–851, 850ş
  denge, etkisi, 677–678
  en düşük sıcaklık, 222
  Fahrenheit, 10–12
  gaz hacmi, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak, 200, 200ş
  Gibbs enerji değişimi, 837ş, 848–851
  iklim değişikliği, 278
  insan yapımı en düşük sıcaklık, 222
  izotermal, 244
  ısıl enerji, 243–244
  Kelvin eşeli, 10, 200
  kelvin, 10, 200
  kritik sıcaklıklar, 519ç
  molar entropi, 830ş
  molekül hızları dağılımı, 219ş
  mutlak eşel 200
  mutlak sıfır,sıcaklığı 200, 200*n*,222, 223
  öteleme enerjileri, 831
  sabit sıcaklık, 248, 248ş
  standart sıcaklık ve basınç koşulları (STP), 201
  tepkime hızı, etkisi, 626–629, 627ş
  tuzların suda çözünürlüğü, 568ş
  van't Hoff eşitliği, 850–851
  ve çözünürlük, 785
  ve denge sabitleri, 709
  ve entalpi değişimleri, 265
  ve gazların çözünürlüğü, 570–571, 571ş
  ve gazların kinetik molekül kuramı, 222–223
  vücut sıcaklığı, 772
  yanlış sıcaklık birimleri, ve kullanımı, 851
sıcaklık, ile değişimi, 785
sıfır noktası enerjisi, 320, 830
sıfırdan farklı haneler, 19
sıfırlar, 19
sık istiflenmiş yapılar, 531–533, 532ş, 533ç
sıkıştırılabilme faktörü, 226, 226ç
sınıflandırma şeması, 51
sınırlayıcı reaktif, 129
sınırlayıcı tepken, 129–131, 129ş
sıvı basıncı, 194, 194ş, 196
sıvı brom, 735
sıvı hidrokarbonlar, 564
sıvı kristal ekran (LCD), 39
sıvı kükürt, 999
sıvı metal soğutuculu hızlı besleyici reaktör (LMFBR), 1133
sıvı su, 8ş, 504
sıvı yağlar, 1269, 1269ç
sıvı yoğunlukları, 504
sıvı-buhar dengesi, 512ş, 573–575, 575ş, 576–577, 576ş, 839ş
sıvılar
  aktiflik, 845
  buhar basıncı eğrisi, 512, 513ş
  buhar basıncı, 511–516
  buharlaşma entalpisi, 510–511, 510ç
  buharlaşma, 263, 510–511
  buharlaşma, 510–511
  çözeltiler, 6
  denge, 667–669
  faz diyagramları, 522–526
  kaynama noktası, 517–518
  kaynama, 517–518
  kritik nokta, 518, 519*t*
  moleküllerarası kuvvetler, 508, 508ş
  özellikleri, 508–520
  sıvı su, 8ş
  standart hal, 264–265
  süper kritik akışkanlar, 523–524
  tanım, 7
  vizkozite, 509, 510ş
  yoğunlaşma, 511
  yüzey gerilimi, 508–509
sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), 224, 1160
SI (metrik) birimler, 8–13
  basınç birimleri, 197–198, 197ç
  Celsius sıcaklığı, 10
  çevirme faktörü, 9
  debye, 501
  dipol moment, 501
  elektrik yükü, 40
  hacim, 12, 13
  hertz (Hz), 296
  iş birimi, 243, 254
  ısı, 244
  ışıma birimleri, 1136ç
  Joule (J), 243, 244, 254
  Kelvin sıcaklığı , 10
  kilopaskal (kPa), 193
  kulomb (C), 40
  kütle, 9–10, 13
  mol, 54
  nanometre (nm), 368
  newton (N), 193
  onluk sistem, 9
  paskal (Pa), 193
  pikometre (pm), 368
  SI önekleri, 9
  SI temelli miktarlar, 9
  sıcaklık, 10–11
  türetilmiş birimler, 12
  viskozite, 504
  zaman, 10
SI olmayan birimler, 12
Sidgwick, Nevil Vincent, 458
sigma (σ), 271, 830
sigma (σ) bağı, 461ş, 462, 462ş, 463
sihirli sayılar, 1128, 1128ç
sikloalkankarboksilli asit, 1186
sikloalkanlar, 1161–1168
  adlandırma kuralları, 1162
  bir —COOH sübstitüenti ile, 1186
  daha yakından bakış, 1165–1167
  disübstitüe sikloalkanlar, 1163–1164, 1168
  disübstitüe sikloalkanlarda *cis-trans izomerliği*, 1163–1164
  halka gerginliği, 1162–1163, 1162ş, 1162ç
  kiral karbon, 1170–1171
  stereoizomerlik, 1164
sikloheksan, 1166, 1166ş
sikloheksanol, 134
sikloheksen, 134, 1178ş
sikloheksilamin, 731, 732
siklopropan, 1163, 1163ş
siklotron, 1119ş
silanlar, 962–963
silika, 482
silikat anyonları, 959
silikat cüruf, 1042
silikatlar, 958–959, 961–962
silikonlar, 962–963
silisik asitler, 959
silisyum dioksit, 588ş, 963
silisyum, 482–483, 918, 951, 957–960
  atomlar, 34ş
  bor ile çapraz ilişkiler, 964
  cam yapımı, 963–964
  erime noktası, 383
  halojenürler, 963
  izotoplar, 50
  karşılaştırma karbon, 951, 951ç
  kimyasal simgesi, 44
  kullanımları, 957–958
  oksitler, 958–960
  seramik ve camda silikatlar, 961–962
  silanlar, 962–963
  silikatlar, 958–959
  silikonlar, 962–963
  üretimi, 957–958
  zeolitler, 960–962
simetrik eterler, 1183
simgeler
  ayrıca bakınız özel simgeler; özel terimler

çift ok, 113, 155
değişim, 116, 245
delta (Δ), 116, 245
den büyük, 246
den küçük, 246
entropi, 822
hücre gerilimi, 866
milimol, 762
mmol, 762
molarite, 123
orantı işareti, 199
orantılı, 9
ortalama çizgisi, 217
sigma (∑), 271
sulu çözelti, 115
termodinamikte kullanılan işaret kuralları, 255ş
toplamı, 271, 830
viskozite, 504
simyacılar, 2
sindiyotaktik polimer, 1254, 1254ş
sinnamaldehit, 599
sirke, 69, 179
sismik dalgalar, 295
sistem, 242, 242ş
açık sistem, 242, 242ş
çevre, 242, 242ş
hal fonksiyonu, 256–257
iç enerji değişimleri, 259–266, 260ş
izole sistem, 242, 242ş, 248, 250
ısı kapasitesi, 244–245
kapalı sistem, 242, 242ş
sistematik hatalar, 18, 124
sistematik isimler, 1175
sitosin, 505ş
sitrik asit, 1149
siyah cisim ışıması, 302, 303, 306
siyan, 1090–1091, 1091
siyanat, 173
siyanlaşma, 1043
siyanojen, 410–411, 957
siyanür, 173, 801, 957
skandiyum, 362, 1046
SN1 and SN2 tepkimelerinde çözücü etkileri, 1219–1220, 1220ş
SN1
alkil yerdeğiştirme , 1218
çözücü etkileri, 1219–1220, 1220ş
nükleofilik güç, etkileyen faktörler, 1220ş
nükleofilik yerdeğiştirme tepkimelerinin mekanizması, 1212–1219
özeti, 1223ş, 1230–1232, 1231ş
rasemik karışımın oluşumu, 1217ş
tahmini, 1232–1233
tanımı, 1216, 1216ş
tanınması, 1219
SN2
arkadan saldırı, 1217–1218
çözücü etkileri, 1219–1220, 1220ş
konfigürasyonun devrilmesi, 1216ş
nükleofilik güç, etkileyen faktörler, 1220ş
nükleofilik yerdeğiştirme tepkimelerinin mekanizması,1212–1219
özet, 1223ş, 1230–1232, 1231ş
polarlanabilme, etkisi, 1223ş
tahmini, 1232–1233
tanımı, 1215
tanınması, 1219
tepkime ilerlemesi, 1216ş
soda kireç camı, 963, 964
soda külü, 929, 963
sodalaşma, 960
Soddy, Frederick, 42
sodyum amit, 1177
sodyum asetat, 724
sodyum azid, 210, 489–491
sodyum benzoat, 726
sodyum bikarbonat. *bakınız* sodyum hidrojen karbonat
sodyum bisülfit, 988
sodyum borhidrür, 1185
sodyum buharlı lamba, 297, 923
sodyum ditiyonit, 182
sodyum fosfat, 770
sodyum hidrojen karbonat, 148–149, 682, 929, 1187
sodyum hidrojen sülfit, 988
sodyum hidroksit, 569*n*
sodyum hipoklorit, 176, 176ş
sodyum iyodür, 157
sodyum karbonat, 929, 963
sodyum klorit, 993
sodyum klorür, 72ş, 84, 156, 567, 897–898, 925
birim hücre, 539–540, 540ş
elektrostatik potansiyel haritası, 403ş, 404
kristaller, 68ş
Lewis yapısı, 397
oluşumu, 72
örgü enerjisi, 543
sodyum kromat, 1048
sodyum nitrat, 139, 157, 726
sodyum oksalat, 181
sodyum oksit, 979
sodyum palmitat, 933ş
sodyum perborat, 942
sodyum siklopentadien, 189–190
sodyum silikat, 924
sodyum siyanür, 726
sodyum sülfat, 35, 930
sodyum tiyosülfat çözeltileri, 1022
sodyum, 920, 921, 921ş
erime noktası, 383
fiziksel özellikler, 51
grup 1 elementi, 52
hazırlanması ve sodyum bileşiklerinin tepkimeleri, 924, 924ş
kimyasal özellikler, 5
kimyasal simgesi, 44
kullanımları, 923
metal, 922
sabunlar, 932
sıvı sodyum, 923
üretimi, 922
varlığı için testler, 806
soğuma eğrisi, 519–521, 520ş
soğurma spektroskopisi, 310, 313ş
soğurma spektrumu, 1103
soğutucular, 980
sol-jel işlemi, 962
sol, 961
sola çevirei, 1082
Solvay işlemi, 929–930, 929ş, 937
Solvay, Ernest, 929
son ekler, 91, 1184–1185
ayrıca bakınız özel son ekler
sonsuz küçük değişiklikler, 824
sonuç, 2
sorbitol, 81
Sørensen, Søren, 704
soy gaz göbeğine göre elektron dağılımı gösterimi, 341
soy gazlar, 52, 365, 979–984
elektron dizilişleri, 366, 1092
inert gazlar, 979
ksenon bileşikleri, 980–984
kullanımları, 980
oluşum, 980
özellikleri, 980
soy gaz bileşiğinin oluşumu, 981
ve eklenmiş elektronlar, 379
soy gazlar, 979
sönmemiş kireç, 810–811, 937, 938, 963
sönmüş kireç, 249ş, 937–938, 1017
çökelme, 794
çözünürlük çarpımı sabiti (*K*çç), 787–788, 885
kısmen çözünen madde
volta pili, kullanımı, 885
sp melez orbitalleri, 456, 496
sp^2 melez orbitalleri, 455–456, 455ş
sp^3 melez orbitalleri, 453, 454ş, 455
sp^3d melez orbitalleri, 457, 458ş
sp^3d^2 melez orbitalleri, 457, 458ş
spdf gösterimi, 339ş, 340, 347
spektrokimyasal seriler, 1085, 1089, 1093
spektrum, 299, 300ş
atom spektrumları, 300–302
beyaz ışık, 300ş
çizgi spektrumları, 300–302
görünür bölge spektrumları, 299, 300ş
hidrojenin yayılma spektrumu, 309, 310
kesikli spektrum, 300
kızıl ötesi spektrum, 1206
sürekli spektrum, 300
yayılma spektrumları, 311, 358
spetroskopi, 310
spodoptol, 1257–1258
spodumen, 920
standart atmosfer basıncı, 10*n*
standart elektrot potansiyelleri (E^o), 869–874, 871ş, 876, 987
standart entalpi değişimleri, 270
standart Gibbs enerji değişimi(ΔG^o), 836–837
standart Gibbs oluşum enerjisi, 836
standart hal, 264–265
standart hidrojen elektrot (SHE), 869, 869ş
standart indirgenme potansiyelleri871
standart indirgenme yarı tepkimesi, 870, 872ç
standart molar entropi (S^o), 830–832
standart olmayan koşullar, 836, 839–841, 846–847, 880, 882–883
standart oluşum entalpileri, 269ş, 270
standart oluşum entalpisi, 268–275
bilinmeyen değer, 273
çizelge değerlerinden hesaplama, 272
çözeltilerde iyonik tepkimeler, 273–275
değerinin önemi, 270
Hess yasası, 270–271
standart molar oluşum entalpileri, 269*t*
standart oluşum entalpileri, 269ş, 270
standart tepkime entalpileri, 270–273
tanımı, 268
tepkime ısısı, hesaplanması, 271, 271ş
standart hücre potansiyeli ($E^o_{hücre}$), 870–888
bilinmeyen standart elektrot potansiyelinin belirlenmesi , 873
çözünürlük çarpımı sabiti, ölçümü, 884
değişimleri, iyon derişimleri ile, 880ş
derişimlerin fonksiyonu olarak, 880–888
diğer standart elektrotlar, 884–887
Nernst eşitliği, 880–881, 884
şiddet özelliği, 889

standart elektrot potansiyellerinin birleştirilmesiyle, 872–873, 876
ve denge sabiti, 878–879
standart sıcaklık ve basınç koşulları (STP), 201, 209
standart tepkime entalpileri, 270–273
standart tepkime entalpisi, 264
standart-hal sıcaklığı, 264*n*
standart, 178, 180–181, 180ş
Stanford doğrusal hızlandırıcı merkezi, 1118ş
stereoizomerler, 1076, 1149
stereoizomerlik, 1164, 1168–1175
alkenlerde, 1176, 1178–1179
enantiyomerler, 1171–1175
enantiyomerlerin adlandırılması, 1171–1175
kirallik, 1169–1171
R, S sistem, 1171–1175
sübstitüentlerin önceliği, 1172–1174
stereomerkez, 1169
sterik engel, 1159, 1159ş
Stern-Gerlach deneyi, 334ş
Stern, Otto, 334, 379
stok çözeltiler, 126
stokiyometri
çevirme faktörleri, 121–122
çözelti stokiyometrisi, 111
çözeltideki tepkimelerin, 128
genelleştirilmiş stokiyometri diyagramı, 118ş
gerçek verim, 132
gerekli çevirmeler, 120
hacim, stokiyometrik hasaplamalarda, 121, 122
ideal gaz eşitliği, 210, 211
ısı miktarları, 263
kuramsal verim, 132
önemi, 112
stokiyometrik derişimler, 587,752–753, 756, 790
stokiyometrik faktör, 117, 128, 210
stokiyometrik katsayılar, 113, 118, 266,630, 830
stokiyometrik oranlar, 129
sulu çözeltilerdeki tepkimelerin, 177–181
tampon çözeltilerde pH değişimleri, 756
tanımı, 116
tepkime stokiyometrisi, 111, 117, 132–138, 210, 211
titrasyonlar, 177–181
ve kimyasal eşitlikler, 116–123
yoğunluk, stokiyometrik hasaplamalarda, 121, 122
yüzde bileşim, stokiyometrik hasaplamalarda, 121, 122
yüzde verim, 132
stokiyometrik derişimler, 587, 752–753,756, 790
stokiyometrik faktör, 117, 128, 210
stokiyometrik katsayılar, 113, 118, 266,630, 830
stokiyometrik oranlar, 129
Stoney, George, 40
STP (standart sıcaklık ve basınç koşulları), 201, 209
Strassman, Fritz, 1130
stronsiyum hidroksit, 165, 345
stronsiyum, 935, 1060
su buharı basıncı, değişik sıcaklıklarda, 215ç
su buharı, 82, 215, 577ş, 578
su çözeltisi. *bakınız* sulu çözeltiler
su gazı, 1018
su üzerinde toplanan, 215–216
su-gaz kayma tepkimesi, 672
su
aşırı soğumuş damlacıklar, 838
Avogadro hipotezi, 202ş
bağlanma, 455
bileşiklerde bulunuşu, 93
bileşimi, 36–37
bir yüzeyin ıslanması, 508–509, 509ş
buhar basıncı, 513ç
buz. *bakınız buz*
çözeltiler. *bakınız* sulu çözeltiler
dalgalar, 295
deniz suyu. *bakınız* deniz suyu
donma. *bakınız buz*
elektrostatik potansiyel haritası, 431ş
faz diyagramı, 524, 524ş
gazlı su, 8ş
hidratlaşmış, 566
hidrojen bağı, 503–504, 503ş
ısınma eğrisi, 521, 521ş
kalsiyum, ile tepkimesi, 383–384, 384ş
karışımların ayrılması, 7ş
katılma tepkimesi, 1241–1242
kaynama noktası, 850
kaynama, 517
kendi kendine iyonlaşması, 703–706, 792, 943
klorlu su, 992
klorun şehir suyunda nitel testi, 157ş
molekül görünümü, 152ş
molekül kütlesi, 73
molekülü, 5
nem dedektörü, 93
normal su, 4
özgül ısı, 247
polar moleküller, 431
potasyum, ile tepkimeleri, 241ş, 383–384, 384ş
saf su. *bakınız* saf su
sıvı su, 8ş, 504
soğuma eğrisi, 519–521, 520ş
su üzerinde toplanan gaz, 215–216
suyun buharlaşması, 838
suyun donması, 832–833
suyun halleri, 8, 8ş
suyun iyon çarpımı, 704
suyun oluşumu, 202ş
tek tabaka, 109
yüksek yanma sıcaklığında, 115
substrat, 640, 641ş, 1211, 1288
Suidan, L., 420, 488*n*
sulu çözelti, 90, 115, 123
aktivite, 845
asidik çözeltiler, 162
asit–baz tepkimeleri, 160–165
bazik çözeltiler, 162
çökelme, 151–152
çökeme tepkimeleri, 156–160
elektrik iletkenliği, 152
elektrolitler, *bakınız elektrolitler*
gaz oluşum tepkimeleri, 164ç
hava molekülleri, 152ş
kuvvetli bir asidin, iyon derişimleri, 706–707
kuvvetli bir bazın sulu çözeltisinin pH sı,707–708
nötral, 705
nötralleşme tepkimesi, 163
sulu çözeltilerin doğası 152–156
titrasyonlar, 177–181
ve kimyasal analiz, 151
yarılma tepkimeleri, 174
yükseltgenme indirgenme tepkimeleri, *bakınız* yükseltgenme indirgenme tepkimeleri
susuz amonyak, 1008
susuz bileşikler, 93
susuz magnezyum perklorat, 93
süblimleşme basıncı, 521
süblimleşme eğrisi, 522
süblimleşme entalpisi, 521, 544
süblimleşme, 521
sübstitüye benzenler, 1179
sübstitüye doğal gaz (SNG), 279
sübstitüyentlerde önceliğin belirlenmesi, 1172–1174
sülfat anyonu, 487–488, 487ş, 1038
sülfatlar, 1002
alkali metaller, 928–930
aluminyum, 950
toprak alkali metaller, 938–939
sülfitler, 1002
sülfür iyonu, 809
sülfürik asit, 35, 134, 487–488, 487ş, 665, 681, 720, 721–722, 1001, 1017, 1246
sülfüröz asit, 1002
süper ağır elementler, 5
süper iletkenler, 980, 1059–1061
süper iletkenlik, 1061
süperkritik akışkanlar, 523–524
süperoksit iyonu, 928
süperoksitler, 926–927
sürekli spektrum, 300
süspansiyon, 797
süzme, 6
Swan Nebula Swan yıldız topluluğu (M17), 1ş
şam çeliği, 1044
şapkacı hastalığı, 1058
şaplar, 950
şarj edilebilen piller, 888, 890–891
şekerler, 1271, 1278
şiddet özelliği, 13, 14
şiddetlendirici girişim, 298, 465
şişme bot, 215

taç eterler, 930–931, 931ş
talyum, 346, 918, 946
tam oluşmuş bağlar, 631
tam sayılar, 81
tamamen iyonlaşmış çözelti, 152–153
tamamlanmamış oktetler, 418–419
tamamlayıcı renk, 1090–1091
tampon aralığı, 759
tampon çözeltiler, 750–762
amin esaslı, 756
bir tampon nasıl çalışır, 751ş
çözeltinin tampon çözelti olup olmadığının belirlenmesi,752
derişik tamponlar, 758
hazırlanması, 754–756, 756ş
Henderson-Hasselbalch eşitliği, 753–754
koşullar, 750
pH değişimi, hesaplamaları, 756–758, 757ş
pH hesaplamaları, 751–753
seyreltik tamponlar, 758
tampon aralığı, 759
tampon bileşenlerinin denge derişimleri,753

tampon bileşenlerinin stokiyometrik derişimleri 752–753
tampon kapasitesi, 759
tanımı, 750
uygulamaları, 759
tampon kapasitesi, 759
tamponlar, 746
ayrıca bakınız tampon çözeltiler
taramalı geçirimli elektron mikroskobu (STEM), 34ş, 68ş
taramalı tünelleme mikroskop 360ş
tartarik asit, 1302
Tassaert, B. M., 1070
Teflon, 988, 989
teğetin eğimi, 605–606
tek atomlu iyon, 72, 84, 398
tek dişli ligant, 1072, 1073ç, 1095
tek elektronlu türler , 418
tek katman, 109
tek moleküllü süreç, 630
tek numaralı elementler, 45
tek protonlu asitler, 717
tekli kovalent bağ, 399
tellür, 348, 997
tembel (inert) kompleks iyonları, 1096, 1096ş
temel hal elektron dizilişi, 453
temel hal, 308, 343
temel parçacıklar, 40, 44ş
elektronlar, 39–41, 44
nötronlar, 43–44
protonlar, 43–44
tepken çözeltisi, 128
tepken, 112
aşırı tepken, 129, 131
ayrıca bakınız kimyasal tepkimeler
iki tepkenin birbirlerine göre kütleleri, 119
miktarları,ve yüzde verim, 134
tepken ve ürünün kütlesi, 118–119
tepken ve ürünün mol sayıları, 117
tepkenin aşırısı, 129, 131
tepkime derecesi, 609–610, 621–622
tepkime diyagramlarının özeti, 925, 944–945
tepkime hızı, 603–604
derişim, etkisi, 608–611
eşik enerjisi, 623, 624
hız belirleyen basamak, 630, 632
hız sabitine karşı, 612
hız yasası. *bakınız* hız yasası
ifadesi, 604
kimyasal bir tepkimeyi izleyerek, 605
kinetik verilerin grafiksel gösterimi, 606ş
öiçümü, 605–608
sıcaklık, etkisi, 626–629, 627ş
teğet eğimi olarak ifadesi, 605–606
tepkimenin anlık hızı, 606, 607
tepkimenin başlangıç hızı, 607–608, 609–611
tepkimenin genel hızı, 603
tepkimenin ortalama hızı, 606, 607
ve moleküllerin yönlenmesi, 623
ve tepkenlerin derişimi, 658
ve termodinamik, 842
zamanla derişim değişimi ifadesi, 605
tepkime hızları. *bakınız* tepkime hızı
tepkime ısısı, 248–252
"kahve fincanı" kalorimetresi, 250–251, 252ş
ekzotermik tepkime, 248, 249ş
endotermik tepkime, 248, 249ş
enthalpi değişimleri (ΔH), 259–266, 266–267
Hess yasası, 266–267
iç enerji değişimleri, 259–266, 260ş
kalorimetre bombası, 249–250, 249ş
kalorimetre bombasında ölçülen259
kalorimetre verilerinden, 251
kalorimetrenin ısı kapasitesi, 249
kalorimetri, 248–252
sabit basınç, 261ş
sabit hacim, 261ş
sabit sıcaklık, 248, 248ş
standart oluşum entalpileri, hesaplamalardan, 271, 271ş
tanım, 248
tepkime ilerlemesi, 624, 625ş, 631ş
tepkime kinetiği. *bakınız kimyasal kinetikler*
tepkime koşulları, 116
tepkime mekanizmaları, 629–636
basit süreçler, 630
hız belirleyici basamak, 630
hızlı tersinir birinci basamağı takip eden yavaş basamak, 631–632
kararlı hal yaklaşımı, 632–635
tanımı, 629
tepkime mekanizmasının test edilmesi, 633
yavaş adımı takip eden hızlı adım, 630–631
tepkime oranı, 670–672, 684–685, 793, 841
tepkime ortamı, 631
tepkime stokiyometrisi,111, 117, 132–138
ardışık tepkimeler, 132–138, 135–136
aynı anda cereyan eden tepkimeler, 132–138, 136–137
gerçek verim, 132, 133
ideal gaz eşitliği, 210, 211
kuramsal verim, 132, 133
net tepkime, 137–138
yüzde verim, 132, 133, 134
tepkimeler. *bakınız* kimyasal tepkimeler
tepkimenin ilerleyişi, 624
ter-bütilbromür, 1226, 1227ş
ter-bütilsikloheksan, 1167
terazi, 9
termal bozunma, 279
termal çatlama, 1161
termit tepkime, 166ş, 945–946
termodinamiğin birinci yasası, 255–259
hal fonksiyonu, 256–257
iç enerji, 255, 256
ifadesi, 255
yola bağlı fonksiyonlar, 257–259
termodinamiğin ikinci yasası, 832–836
termodinamiğin üçüncü yasası, 830
termodinamik entropi, 828
termodinamik kontrol, 669
termodinamik, 241, 819ş
entropi, 821–832
kullanılan işaret kuralları, 255ş
makroskopik tanım, 824
mikroskopik tanım, 824
standart koşullar altında önemli ilişkilerin özeti, 879ş
tepkimenin denge konumu, 922
termodinamiğin birinci yasası, 255–259
termodinamiğin ikinci yasası, 832–836
termodinamiğin üçüncü yasası, 830
termodinamik denge sabiti, 844–848
termodinamik sistemin hali, 824
termokimya. *bakınız* termokimya
üretim metalurji, 1040–1041
ve tepkime hızları, 842
verilerden denge sabiti, 847–848
termokimya
enerji kaynağı olarak yakıtlar, 275–281
entalpi değişimleri (ΔH), 259–266, 266–267
Hess yasası, 266–267
iç enerji değişimleri, 259–266, 260ş
iş, 252–254
ısı, 244–248
kalorimetri, 248–252
standart oluşum entalpisi, 268–275
tepkime ısısı, 248–252, 259–266
terimler, 242–244
termodinamiğin birinci yasası, 255–259
termokimyasal döngüler, 1028
terörist saldırıları, 1009
ters osmoz, 580ş, 581
tersinir süreç, 248, 258, 874*n*
tersinir tepkimeler, 113, 155, 655, 656, 665
net değişim, yönü, 672–673, 672ş
tersinir yol, 825
tersinmez süreç, 258, 833*n*
termiiyonik emisyon, 364
testosteron, 70, 71ş
tetra- öneki, 89
tetraalkil amonyum tuzları, 1191
tetraetilkurşun, 1161
tetramer, 1252
Thomsen, J., 820–821
Thomson, George P., 314
Thomson, J.J., 40, 45
tortveitit, 1046
Three Mile Adası, 1131ş, 1132
titanyum dioksit, 135, 1002, 1046–1047
titanyum tetraklorür, 1046
titanyum, 923, 1042, 1046–1047, 1063
titrant, 762
titrasyon eğrileri, 762–770
kuvvetli asidin kuvvetli bazla titrasyonu, 762–765, 764ş, 765ş
milimol, 762
tanımı, 762
zayıf asidin kuvvetli bazla titrasyonu, 765–768, 765ş, 768ş
zayıf çok protonlu asidin titrasyonu, 768–769, 769ş
titrasyonlar, 177–181
asit–baz titrasyonu 178
asitler ve bazların derişimleri, belirlenmesi, 179
eşdeğerlik noktası, 178
genellikle kullanılan cam malzeme,177, 178ş
indikatörler, 178
redoks titrasyonları, 180–181, 180ş
standart, 178, 180–181, 180ş
tanımı, 177–178
tayini, 178
titreşim enerjisi, 831, 831ş
tiyo- öneki, 91
tiyosülfat, 176, 1002–1003, 1138, 1138ş
tokamak, 1134ş
toluen, 573, 574, 1179
top-çubuk modeli, 70–71
toprak test kitleri, 761
torr (Torr), 194
Torricelli, Evangelista, 194
torsiyon enerjisi, 1157
trans izomerler, 1077, 1078, 1079ş, 1097, 1098,1163–1164, 1167, 1228–1229
trans platin, 1098
transmutasyon, 42
transuranyum elementleri, 1118

tri-öneki, 89
trietilamin, 525
trietilen glikol, 115
triflorürler, 986
trigliseritler, 1268, 1301
trilyodür iyonu, 994
trilyonda bir (ppt), 559
trinitrogliserin, 1010, 1011
trinitrotoluen, 1012
trioksijen, 416
trityum, 45
trona, 929
Trouton kuralı, 827–829
tungsten, 44
Turnbull mavisi, 1053
tuvalet ispirtosu, 17
tuz etkisi, 791, 791ş
tuz köprüsü, 866
tuz, 925
  ayrıca bakınız sodyum klorür
tuzdan arındırma, 580ş, 581
tuzlar, 91, 92ç, 163
  asit tuz, 1002
  borat tuzları, 943
  çamur banyosu, 584
  çift tuzlar, 950
  çok protonlu asitlerin tuz çözeltileri, 770–771
  dikromat tuzu, 1049
  hipoklorit tuzları, 992
  kalsiyum tuzları, 786ş
  klorat tuzları, 993
  kromat tuzları, 1049
  kuvvetli asidin suda çözünmeyen tuzu, 798
  metal tuzlar, 156
  perklorat tuzları, 993
  polifosfatlar, 1016
  sabunlar, 1269
  sülfatlar, 1002
  sülfitler, 1002
  tetraalkil amonyum tuzları,1191
  tuz çözeltilerinin pH sı, 725
  tuzların hidratlaşması, 924–925, 938
  tuzların suda çözünürlükleri, 568ş
  zayıf asidin suda çözünmeyen tuzu, 798
  zayıf asit ve tuzu, 748–749
  zayıf baz ve tuzu, 749
tuzların hidratlaşması
  alkali metaller, 924–925
  toprak alkali metaller, 938
tuzlu su, 925, 929
türetilmiş birimler, 12
tv setleri, 39
Tyndall etkisi, 588, 588ş
Tyndall,John, 588

U

uç atom, 408
uç sıfırlar, 19
uçak yakıtı, 279
uçucu asit, 930
uçucu olmayan asit, 930, 989
uçucu olmayan çözünen, 581ş
uçucu olmayan ve yükseltgen olmayan asit, 990
uçuculuk, 523
Uhlenbeck, George, 333–334
Uluslararası Birim Sistemi, 8
Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC), 5, 51, 53, 123,154, 201, 264*n*, 603, 662, 874, 1150, 1184, 1188
uluslararası termonükleer deney reaktörü (ITER), 1134
uranyum heksaflorür, 224
uyarılmış hal, 308, 343
uyumlu adım, 1213
uzay dolgu modeli, 71

Ü

üç atomlu molekül, 421, 831
üç merkezli iki elektronlu bağlar, 942
üç moleküllü süreç, 630, 631
üç protonlu asit, 718
üçgen düzlem, 428
üçgen piramit, 423
üçgen prizma, 1108
üçlü bağlar, 1173, 1175
üçlü bileşikler, 91
üçlü demir elementleri, 1052–1054
üçlü iyonik bileşikler, 398
üçlü kovalent bağ, 401
üçlü nokta, 522
üçüncü dereceden tepkimeler, 610
üçüncü periyot elementlerinin erime noktaları, 383
üçüncül alkol, 1181, 1185
üçüncül karbon, 1151
üre, 133, 1009, 1147
üretici nükleer reaktör, 1133
üretim metalurjisi, 1037–1044
  alternatif yöntemler, 1041–1042
  bakır, 1042–1043
  bölgesel arıtma, 1038-1040, 1040ş
  derişim, 1037
  hidrometalurji, 1043
  indirgenme, 1038
  kal, 1038–1040, 1040ş
  kavurma, 1038
  pirometalurji, 1043
  termodinamiği, 1040–1041
ürik asit, 1149
ürünler, 112
  istenmeyen ürünler, 132
  tepken çözeltisinin molar derişimi ve ürün hacminin kütlesi, 128
  tepken ve ürünün kütlesi, 118–119
  tepken ve ürünün mol sayısı, 117
  yan ürünler, 132

V

van der Waals eşitliği, 227–229
van der Waals kuvvetleri, 499, 506
van der Waals sabitleri, 226ç
van der Waals yarıçapı, 368
van der Waals, Johannes, 228
van Helmont, Jan Baptista, 36
van't Hoff eşitliği, 850–851
van't Hoff faktörü, 586, 587ç
van't Hoff, Jacobus, 584, 585, 850, 1150
vanadinit, 1047
vanadyum, 1041, 1047
vanilya, 250
ve sıcaklık, 570–571, 571ş
verici atomlar, 483
verim
  gerçek verim, 132, 133
  kuramsal verim, 132, 133
  yüzde verim, 132, 133, 134
verimli izotop, 1133
Villard, Paul, 41
vinil klorür, 989, 1177
viskozite, 504, 509, 510ş
vitray pencereler, 963
vitroil yağı, 35
volkanik patlamalar, 1211ş
volt (v), 866
volta pilleri, 867, 885
  anot, 897
  istenmeyen, 894–895
voltmetre, 865
VSEPR kuramı. *bakınız* değerlik-kabuğu elektron çifti itmesi (VSEPR)
vulkanizasyon, 1251
vurgu, 217
vurgun, 572, 980
vücut sıcaklığı, 772

W

Watson, James, 1293
Weinhold, F., 488*n*
Werner, Alfred, 1070, 1070ş, 1097
Wilkins, Maurice, 1293
wootz çeliği, 1044
Wöhler, Friedrich, 1147

X

X-ışını kırınımı, 535–537, 535ş, 536ş
X-ışınları, 3, 41–42, 314, 363, 364ş, 530, 788, 923
  elektrostatik potansiyel haritaları, 983, 983ş
  entalpi diyagramı, 984, 984ş
  ksenon bileşikleri, 980–984
  ksenon, 365, 979, 980
  molekül şekilleri, 982, 982ş
  özellikler, 983ç

Y

yabancı iyon etkisi, 791
yağ asitleri, 1268, 1268ç
yağ damlası deneyi, 41
yağlar, 1269, 1269ç
yakıt hücreleri, 280, 888, 892–893, 906
yakıtlar
  biyoyakıtlar, 280
  doğal gaz, 275
  etanol, 279
  fosil yakıtlar, 275–278
  hava kirliliği, 279
  hidrojen, 280
  kömür, 275, 278–279
  metanol, 279
  petrol, 275
  sübstitüe doğal gaz (SNG), 279
  yanma ısısı, 276ç
yalancı birinci dereceden tepkimeler, 620
yalıtkanlar, 482ş
yan tepkimeler, 132
yan ürünler, 132
yanma analizi, 82–84, 82ş, 209
yanma cihazları, 113
yanma ısısı, 248, 276*t*, 1162*t*
yanma tepkimeleri, 35ş, 111ş, 114
yansıma, 299ş
yapay değerli taşlar, 949
yapay izotoplar, 45*n*
yapay olarak indüklenmiş radyoaktiflik,1117–1118
yapı formülü, 69–70, 100, 1149
yapı izomerleri, 1076
yapı izomerleri, 1149–1150
yapı izomerliği, 1148–1150
yarı eşitlik, 170–172, 171*t*

yarı geçirgen zarlar, 578
yarı hücre tepkimeleri, 874, 891
yarı hücre, 864, 865ş
yarı iletken teknolojisi, 365
yarı iletkenler, 482–484, 482ş
yarı metaller, 52, 365, 382, 951
yarı ömür, 615
yarı ömür, 615, 1119–1120, 1120ç
yarı tepkimeler, 167–169, 170, 889, 899, 987
yarı-metaller, 951
yarıçap oranı, 539
yarıçap
  anyonik yarıçap, 373, 373ş
  atom yarıçapı. *bakınız* atom yarıçapı
  ayrıca bakınız iyonik yarıçap
  Bohr yarıçapı, 370
  dairenin, 318
  iyonik yarıçap, 540
  kovalent yarıçap, 367, 368ş, 373, 373ş
  metalik yarıçap, 368, 368ş
  van der Waals yarıçapı, 368
yarıçaplar. *bakınız* atom yarıçapı
yarıhidrat, 1002
yarılma tepkimesi, 992
yaygın ad, 94
yaygın ad, 94
yayılma spektroskopisi, 310, 311ş
yayılma spektrumları, 311, 358
yeniden çöktürme, 801
yeniden kristallendirme, 569–570, 1036
yeniden oluşma, 956
yeniden oluşum süreci, 1161
yerçekimi, 1127
yerdeğiştirme tepkimesi, 1182, 1209
  ayrıca bakınız alkollerin nükleofilik yerdeğiştirme tepkimeleri, 1235–1239
  elektrofilik yerdeğiştirme tepkime, 1244–1247
  nükleofilik yerdeğiştirme tepkimeleri, 1211–1225
  özet, 1230–1232, 1231ş
yerdeğiştirme tepkimesi, 384
yerdeğiştirme tepkimesi, 384
yeşil kimya, 148
yeşil, 1090, 1091, 1101
yoğun spdf gösterimi, 339ş, 340
yoğun yapı formülü, 70
yoğunlaşma, 511
yoğunluk
  alkali metaller, 921
  çeşitli gazların, 203*t*
  çevirme faktörü olarak, 14, 74ç
  çevirme yolu, 14–16
  civanın, 14
  düzensiz şekilli katılarda, 15–16
  elektron yoğunluğu, 486, 486ş, 487–488, 487ş
  elektron yük yoğunluğu, 320–321
  gaz yoğunlukları, 14, 209–210
  katı yoğunlukları, 14, 504
  kristal katı, 537
  molar yoğunluk, 667
  olasılık yoğunlukları, 324, 327, 328, 331ş
  osmiyumun, 14
  problem çözümünde, 13–16
  sıvı yoğunlukları, 14, 504
  stokiyometrik hesaplamalarda, 121, 122
  tanımı, 13, 667
  ters şekli, 14
  ve kütle ve hacim, 15
  ve maddenin hali, 13–14
  yoğunluk dağılımları, 324
  yük yoğunluğu, 918–920, 924–925
yoğunlukların uzaysal dağılımı, 324
yokedici girişim, 298, 465
yola bağımlı fonksiyonlar, 257–259
yumuşak, 52
yunan yaklaşımı, 2
yuvarlama hataları, 54
yük sayısı, 874
yük yoğunluğu, 734, 918–920, 924–925
yük-parçacık hızlandırıcı, 1118
yüksek fırın, 1044ş, 1044ç
yüksek sıcaklık süper iletkenleri, 1059–1061
yüksek spin, 1085
yükseltgen asit, 809
yükseltgen olmayan asitler, 169ç
yükseltgen yetenekleri, 384
yükseltgenler, 175–177, 176ş, 872, 878
yükseltgenler, 175–177, 176ş
  element oksitlerinin asit baz doğası, 385
yükseltgenme basamağı değişim yöntemi, 175
yükseltgenme basamakları, 84–86
  belirlenmesi, 85–86
  değişimler, 166
  demir üçlüsü elementleri, 1052–1053
  geçiş elementleri, 1033–1034, 1034ş
  grup 13 elementleri, 946
  kararlılık, 1098
  kullanışlılığı, 415
  merkez metali, 1072
  yükseltgenler,indirgenler, tanımı, 176ş
  yükseltgenme basamakları belirleme kuralları, 85ç
yükseltgenme basamaklarının kararlılığı, 1098
yükseltgenme indirgenme eşitlikleri, 170–175
  alternatif yöntem, 190–191
  asidik çözelti, 171–172
  bazik çözeltiler, 172–174, 174ç
  standart hücre potansiyeli ve denge sabiti ilişkisi, 879
  yarı eşitlik yöntemi, 170–172, 171*t*
  yarılma tepkimeleri, 174
yükseltgenme sayısı, 84, 84*n*
  bakınız yükseltgenme basamakları
yükseltgenme yarı tepkimesi, 876, 923
yükseltgenme-indirgenme tepkimeleri, 165–170, 167ş
  anlık değişim, 876–877
  denkleştirilmiş redoks tepkimesi, 868
  elektrokimyasal hücreler, 878
  genel ilkeler, 165–170
  indirgenler, 175–177
  indirgenme, 166, 168
  metaller, ve yükseltgen olmayan asitler, 169ç
  net eşitlik, 168–169
  öngörme,elektrot potansiyeli verilerini kullanarak, 1048
  pratik uygulamalar, 165–166
  "saklı" elektrons, 168
  sulu çözeltiden farklı ortamda, 175
  tanım, 166
  tanımı, 166–167
  termit tepkime, 166ş
  yarı tepkimeler, 167–169, 170
  yarılma tepkimeleri, 174
  yer değiştirme tepkimesi, 384
  yükseltgenler, 175–177
  yükseltgenme basamağı değişmeleri, 166
  yükseltgenme indirgenme eşitlikleri, 170–175, 190–191
  yükseltgenme, 166, 168
yükseltgenme, 166, 168, 1185
  anot, 867
  hidrokarbonlar, 1248
yüzde bileşim, 17–18, 77–81, 121, 122
yüzde bolluk, 48, 49, 57–58
yüzde iyonlaşma, 716–717, 716ş
yüzde verim, 132, 133, 134
yüzdeler
  çarpma, 17–18
  ve bölme, 17–18
yüzdürme, 1037, 1037ş, 1042
yüzey gerilimi, 508–509
yüzey merkezli kübik (ymk), 531
yüzey merkezli kübik (ymk), 531
yüzey-katalizlenmiş tepkimesi, 639ş
yüzme havuzları, 761–762

Z

zaman, 10
zamanla derişim değişimi, 605
zar hücresi, 904
zayıf asitler, 161, 700ş, 708–717
  açıklayıcı örnekler, 711–715
  basitleşleştirilmiş varsayım, 715–716
  basitleşleştirilmiş varsayımın geçersizliği, 713–714
  belirlenmesi, 710–711
  iyonlaşma sabitleri, 710ç
  iyonlaşma yüzdesi, 716–717
  iyonlaşması, 800
  karşılaştırma kuvvetli asitler , 709ş
  zayıf asidin kuvvetli bazla titrasyonu,765–768, 765ş, 768ş
  zayıf asidin suda çözünmeyen tuzu, 798
  zayıf asit çözeltilerinin pH sının hesaplanması, 712–713
  zayıf asit çözeltisinin pH sından *Ka* değeri, 712
  zayıf bir asidin çok seyreltik çözeltisinin pH sı, 714–715
  zayıf çok protlu asitlerin titrasyonu, 768–769, 769ş
  zayıf iki protonlu asit, 807
zayıf bazlar, 162, 699ş, 708–717
  açıklayıcı örnekler, 711–715
  amonyak türevleri, 711
  basitleştirilmiş varsayımın geçersizliği, 713–714
  basitleştirilmiş varsayımlar, 715–716
  belirlenmesi, 710–711
  iyonlaşma sabitleri, 710*t*
  yüzde iyonlaşma, 716
zayıf elektrolit, 153, 154ş, 155
zayıf nükleer güç, 1127
zayıf-alan ligantları, 1085
zeolitler, 960–962, 960ş
  sıfırıncı dereceden tepkimeler, 610, 611–612, 612ş
Ziegler, Karl, 1254
zincir tepkime polimerleşmesi, 1251–1252, 1252ç
zincir tepkimeleri, 1131, 1248
zümrüt kristali, 933ş
zwitter iyon, 1280

Bazı Fiziksel Sabitler*

Yerçekimi ivmesi	g	9.80665 m s^{-2}
Işık hızı (boşlukta)	c	2.99792458×10^8 m s^{-1}
Gaz sabiti	R	0.0820574 atm L mol^{-1} K^{-1}
		0.08314472 bar L mol^{-1} K^{-1}
		8.314472 J mol^{-1} K^{-1}
Elektronun yükü	e^-	$-1.602176462 \times 10^{-19}$ C
Elektronun durgun kütlesi	m_e	$9.10938188 \times 10^{-31}$ kg
Planck sabiti	h	$6.62606876 \times 10^{-34}$ J s
Faraday sabiti	F	9.64853415×10^4 C mol^{-1}
Avogadro sayısı	N_A	$6.02214199 \times 10^{23}$ mol^{-1}

*Bilim ve Teknoloji Veri Komitesi (CODATA) Temel fizik sabitlerinin tavsiye edilen değerleri: 2006 (http://physics.nist.gov/constants)

Yaygın Bazı Çevirme Faktörleri

Uzunluk

1 metre (m) = 39,37007874 inç (in.)

1 in. = 2,54 santimetre (cm)

Kütle

1 kilogram (kg) = 2,2046226 pound (lb)

1 lb = 453,59237 gram (g)

Hacim

1 litre (L) = 1000 mL = 1000 cm^3

1 L = 1,056688 kuart (qt)

1 galon (gal) = 3,785412 L

Basınç

1 atmosfer (atm) = 101,325 kilopaskal (kPa) (tam)
= 1,01325 bar (tam)
= 760 Torr (tam)

1 Torr ≈ 1 milimetre civa (mmHg)

Enerji

1 joule (J) = 1 N m = 1 kg m^2 s^{-2}

1 kalori (kal) = 4,184 J

1 kPa L = 1 J

1 bar L = 100 J

1 atm L = 101,325 J

1 elektronvolt (eV) = $1,602176462 \times 10^{-19}$

1 eV/atom = 96,485 kJ mol^{-1}

1 kilovat saat (kWh) = 3600 kJ (exact)

Kütle-enerji eşdeğerliği:

1 atomik kütle birimi (akb)
= $1,66053873 \times 10^{-27}$ kg
= 931,4866 MeV

Kuvvet

1 Newton(N) = 1 kg m s^{-2}

Yararlı Geometrik Formüller

Dikdörtgenin çevresi = $2l + 2w$

Çemberin çevresi = $2\pi r$

Dikdörtgenin alanı = $l \times w$

Üçgenin alanı = $\frac{1}{2}$ (taban × yükseklik)

Dairenin alanı = πr^2

Kürenin alanı = $4\pi r^2$

Paralelyüzün hacmi = $l \times w \times h$

Kürenin hacmi = $\frac{4}{3}\pi r^3$

Silindir ya da prizmanın hacmi = (taban alanı) × yükseklik

$\pi \approx 3,14159$

Önemli Veriler ve Diğer Yararlı Bilgilerin Yerleri

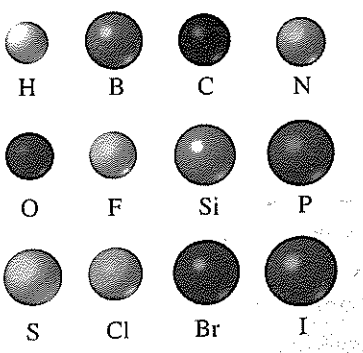
Çekirdek, Atom ve Molekül Özellikleri	Sayfa
Atom numarası ve iyonlaşma enerjileri	375
Atom ve iyon yarıçapları	374
Bağ enerjileri	435
Bağ uzunlukları	433
Bazı metal iyonlarının elektron dağılımları	366
Elektron dağılımları ve periyodik çizelge	345
Elektron ilgileri	378
Elementlerin elektron dağılımları	E17
Elementlerin elektronegatiflikleri	405
Hidrojen benzeri atomların dalga fonksiyonları	328
Melez orbitaller ve yönlenmeleri	459
Metaller, ametaller, metalimsiler ve soy gazlar	52
Molekül geometrisi: VSEPR kuramı	421
Molekül modellerinin renk şeması (aşağıya bakınız)	71
Molekül orbital diyagramları: Birinci periyot elementleri	467
Molekül orbital diyagramları: İkinci periyot elementleri	468
Nötron-proton oranları ve çekirdek kararlılığı	1129
Proton, nötron ve elektronun özellikleri	44

Asitler, Bazlar, Tuzlar	
Asit, baz ve amfoter oksitler	385
Bazı asit-baz indikatörlerinin renk değişimleri	760
Bazı Bronsted-Lowry asit ve bazının görece-li kuvvetleri	702
Çeşitli tuz çözünürlüklerinin sıcaklıkla değişimi	568
İyonik bileşiklerin suda çözünme kuralları	158
Yaygın bazı kuvveli asitler ve bazlar	706-707
Yaygın bazı maddelerin pH değerleri	705
Yaygın çok protonlu asitlerin iyonlaşma sabitleri	718
Zayıf asitlerin iyonlaşma sabitleri	710, E25
Zayıf bazların iyonlaşma sabitleri	710, E25

Termodinamik ve Denge	
25 °C da çözünürlük çarpımı sabitleri	748, E25
Bileşiklerin termodinamik özellikleri	E18
Çeşitli elementlerin özgül ısıları	247
Kompleks iyonların oluşma sabitleri	801, E27
Kritik sıcaklık ve basınç	519
Standart elektrot potansiyelleri	287, E28
Suyun çeşitli sıcaklıklardaki buhar basıncı	513
Termodinamik, denge ve elektrokimyasal bağıntıların özeti	879

Formüller, Adlandırma, Terimler	Sayfa
Çok atomlu iyonlar	91
Organik bileşiklerde işlevsel gruplar	1154
Yaygın alkil grupları	1152
Yaygın bazı oksiasitler ve tuzlarının adları	92
Yükseltgenme basamaklarını bulma kuralları	85

Diğerleri	
Bazı tipik birinci derece işlemler	618
Canlılarda kimyasal elementler	1267
Elektromanyetik spektrum	297
İşlevsel grup dönüşümleri	1255
Kristal katıların nitelikleri	542
Metabolizma şeması	1286
Nitel katyon analizi	805
SI birimleri	9,E15
Spektrokimyasal seriler	1085
Yaygın amino asitler	1279
Yaygın basınç birimleri	197
Yaygın kolloit tipleri	589
Yaygın U.S. ve metrik eşdeğerleri	12



Molekül modellerindeki atomların renkleri